

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a**  
**informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2012**

**Bc. Jiří Drholec**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a**  
**informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Měření na statických a indukčních  
elektroměrech**

**Measurement of Static and Inductive  
Energy Meters**

**2012**

**Bc. Jiří Drholec**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jiří Drholec**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Měření na statických a indukčních elektroměrech  
Measurement of Static and Inductive Energy Meters

Zásady pro vypracování:

1. Princip měření energie u indukčních a statických elektroměrů
2. Faktory ovlivňující přesnost měření
3. Návrh metodiky měření přesnosti elektroměrů
4. Volba vhodného referenčního měřicího přístroje
5. Vliv charakteru spotřebiče (lineární, nelineární) na přesnost

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Moravec - M.: Měření a zpracování informací. Skriptum ČVUT Praha, 1984.
- [2] Dreschler, R.: Měření elektrické energie. SNTL, 1966.
- [3] Platné technické normy.
- [4] Technická dokumentace k měřeným elektroměrům.

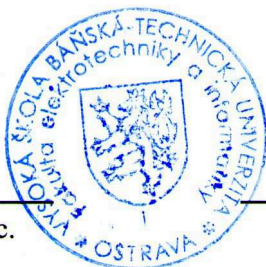
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimír Král, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 14. 4. 2012

Podpis: 

### **Poděkování:**

Touto cestou děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Vladimíru Královi, Ph.D., který mi při řešení poskytl cenné rady a kritické připomínky. Velké díky patří také manželce, dětem a celé rodině, která mi vytvořila potřebné zázemí a byla mi oporou po celou dobu studia.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se věnuje otázce přesnosti měření, respektive rozdílem mezi naměřenými hodnotami spotřeby elektrické energie indukčních a statických elektroměrů při měření odebrané energie spotřebičů se spínanými zdroji ve svých napájecích obvodech. Tyto rozdíly v naměřených hodnotách jsou způsobeny jejich zcela odlišným principem měření elektrické energie. Pro zajištění správnosti naměřených hodnot vybraných typů elektroměrů, byly tyto řádně kalibrovány v autorizovaném metrologickém středisku s úřední značkou K18. Výsledkem práce je vyhodnocení naměřených hodnot elektroměrů, které dosahují při měření stejných spotřebičů se spínanými napájecími zdroji za stejných klimatických (laboratorních) podmínek různých velikostí. Součástí práce je také určení nejistoty měření.

## **Klíčová slova**

Metrologie, měření, přesnost, etalon, zkušební měřicí zařízení, chyby měření, rušivé vlivy, statický a indukční elektroměr, spínané zdroje, harmonické zkreslení, metody zkoušení elektroměrů, nejistoty měření.

## **Abstract**

This thesis deals with the issue of accuracy, respectively the difference between the measured values of power consumption static and induction meters for measuring the energy costs of appliances switching power supply in their districts. These differences in measured values are due to their entirely different principle of measurement of electrical energy. To ensure the accuracy of the measured values of selected types of meters, were properly calibrated by in Authorized Metrological Center with an official mark K18. Result of this work is to evaluate the readings of electricity meters, which achieve the same appliances for measuring the switching power supplies under the same climate (laboratory) conditions of different sizes. The work also includes determining the measurement uncertainty.

## **Keyword**

Metrology, measurements, accuracy, measurement standard, test and measuring devices, measurement errors, interferences, static and induction meter, switching power supplies, harmonic distortion, electrical test methods, measurement uncertainty.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

A	Ampér
AC	střídavý proud, střídavé napětí
$B$	magnetická indukce
cd	Kandela
ČR	Česká republika
F	Farad
f	kmitočet [Hz]
$G$	vodivost
$H$	intenzita magnetického pole
H	Henry
h	hodina
Hz	Hertz
imp.	impuls
K	Kelvin
kap.	kapitola
kg	kilogram
km	kilometr
kV	kilovolt
kvar	kilovar
kW	kilowatt
kvarh	kilovarhodina
kWh	kilowatthodina
m	metr
mH	milihenry
N	Newton
ot.	otáčka
rad	radián
s	sekunda
S	Siemens
$t$	čas
$v$	rychlost [m/s]
V	Volt
W	Watt
Wb	Weber
°C	stupeň Celsia
$\Omega$	Ohm
$\Phi$	magnetický tok
$\varphi$	účinník
$\lambda$	PF (power factor)
$\mu_r$	relativní permeabilita prostředí
$\omega$	úhlová rychlost [rad/s]
$\psi$	fázový posun mezi dvěma magnetickými toky

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metrologie.....</b>	<b>2</b>
2.1	Definice základních pojmů .....	2
2.2	Historický vývoj měření a měřicích jednotek.....	3
2.3	Měřicí jednotky.....	5
2.3.1	Základní jednotky.....	5
2.3.2	Odvozené jednotky a jednotky mimo SI.....	6
2.3.3	Předpony a jejich značky pro označení dekadických násobků.....	9
2.4	Domácí a mezinárodní metrologické organizace.....	9
<b>3</b>	<b>Činnost a vlastnosti indukčních a statických elektroměrů .....</b>	<b>10</b>
3.1	Indukční elektroměry .....	10
3.1.1	Používané typy .....	12
3.1.2	Princip Ferrarisova motoru .....	13
3.1.2.1	Působení a účel jádra napětí.....	13
3.1.2.2	Působení a účel jádra proudu .....	14
3.1.2.3	Vzájemné působení jádra napětí a proudu .....	15
3.1.2.4	Točivý moment kotouče .....	16
3.1.2.5	Výpočet mechanického momentu působícího na kotouček .....	19
3.2	Statické elektroměry .....	20
3.2.1	Měřicí systém .....	21
3.2.2	Používané typy .....	23
3.3	Pravidla připojování elektroměrů .....	25
<b>4</b>	<b>Spínané zdroje.....</b>	<b>26</b>
4.1	Spínané zdroje s kmitočtem vyšším, než síťovým .....	26
4.2	Účinník versus opravdový účinník .....	28
<b>5</b>	<b>Pomůcky ke zkoušení.....</b>	<b>29</b>
5.1	Požadavky na zkušební zařízení .....	29
5.2	Požadavky na pomocná zařízení.....	30
<b>6</b>	<b>Podmínky při zkoušení.....</b>	<b>31</b>
6.1	Vymezení referenčních podmínek .....	31
<b>7</b>	<b>Chyby měření .....</b>	<b>32</b>
7.1	Rozdělení podle výskytu .....	32
7.2	Rozdělení podle původu .....	34
7.3	Rušivé vlivy .....	35
7.3.1	Mechanické vlivy .....	35
7.3.2	Teplotní vlivy .....	35
7.3.3	Elektromagnetické vlivy .....	36
7.3.4	Přechodový odpor.....	36
7.3.5	Termoelektrické napětí .....	36
7.3.6	Vnější elektrické pole.....	36
7.3.7	Jiné požadavky .....	36
7.4	Základní metrologický přístup k chybám.....	37

<b>8</b>	<b>Popis a průběh zkoušek.....</b>	<b>37</b>
8.1	Povinné zkoušky a jejich pořadí .....	37
8.2	Příprava elektroměrů .....	38
8.3	Příprava zkušebního zařízení .....	38
8.4	Zapojení elektroměrů.....	38
8.5	Vnější prohlídka.....	38
8.6	Zkouška pevnosti elektrické izolace .....	39
8.7	Zkouška chodu naprázdno .....	39
8.8	Zkouška náběhu .....	40
8.9	Zkouška přesnosti .....	42
8.10	Zkouška číselníku .....	43
<b>9</b>	<b>Metody měření .....</b>	<b>44</b>
9.1	Metoda snímání otáček kotouče resp. impulsů zkoušeného elektroměru .....	44
9.2	Metoda odečtu údaje číselníku zkoušeného elektroměru.....	45
<b>10</b>	<b>Měření na indukčním a statickém vzorku elektroměru.....</b>	<b>46</b>
10.1	Příprava elektroměrů ke zkoušce .....	47
10.1.1	Indukční elektroměr .....	47
10.1.2	Statický elektroměr .....	47
10.1.3	Napěťová zkouška izolace.....	48
10.1.4	Seřízení indukčního elektroměru .....	48
10.1.5	Příprava měřicí stanice .....	49
10.2	Technická data zkoušených měřidel .....	50
10.2.1	Elektroměry .....	50
10.2.2	Analyzátor sítě BK 330 .....	51
10.3	Realizace měření .....	53
10.3.1	Kalibrace měřidel .....	53
10.3.2	Měření spotřeby spínaných zdrojů kalibrovanými měřidly.....	55
<b>11</b>	<b>Stanovení nejistoty měření.....</b>	<b>65</b>
11.1	Základní pojmy .....	65
11.2	Stanovení standardních nejistot .....	66
11.2.1	Standardní nejistota typu A .....	66
11.2.2	Standardní nejistota typu B .....	66
11.2.3	Stanovení kombinované standardní nejistoty .....	68
11.2.4	Rozšířená nejistota měření .....	68
11.3	Příklad výpočtu .....	68
11.4	Vyjádření výsledku měření .....	72
<b>12</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>73</b>
<b>13</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>75</b>
<b>14</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>76</b>
	Příloha č. I - Protokol naměřených hodnot při kalibraci měřidel	
	Příloha č. II - Protokol naměřených hodnot elektroměrů pro výpočet nejistoty měření	
	Příloha č. II - Výpočet nejistoty měření	
	Příloha č. IV - Certifikát způsobilosti metrologa II. kvalifikačního stupně	
	Příloha č. V - Autorizace metrologického střediska	



# 1 Úvod

Měření je v soudobé společnosti jednou z nejfrekventovanějších lidských činností, i když si to často ani neuvědomujeme. Nesporné to je u náročných technologií, při řešení složitých úkolů vyžadujících extrémní přesnost. Ale i prostý pohled na hodinky – tedy zjišťování času, hmotnosti zboží při jeho nákupu, objemu při tankování pohonných hmot, bilancování výsledků a další činnosti jsou dnes tak samozřejmé a běžné, že je často ani za měření nepokládáme. To všechno ale je měření, které se stalo nedílnou součástí naší každodenní činnosti. Muselo být mnoho vykonáno, než se lidstvo propracovalo k dnešnímu stavu, kdy vytvořilo předpoklady pro dosažení srovnatelnosti zjišťovaných hodnot. Vědou, která se veškerou problematikou spojenou s měřením zabývá, je metrologie.

Potřeba správného a přesného měření má svoje základy již v dávné minulosti, v době, kdy lidé docházeli k poznání nezbytnosti stanovovat rozměry a hmotnost ať už z důvodu technických nebo směny zboží (rozšiřující se možnosti jeho výměny). Například královští architekti, odpovědní za budování chrámů a pyramid pro faraóny ve starém Egyptě tři tisíce let před naším letopočtem, měli povinnost zkalibrovat své měřidlo délky při každém úplňku. První královský loket byl definován jako délka předloktí od lokte ke špičce nataženého prostředníčku vládnoucího faraóna, plus šířka jeho ruky. Prvotní měření bylo přeneseno na černou žulu a do ní vytesáno. Pracovníkům na staveništích byly předány žulové nebo dřevěné kopie a architekti byli odpovědní za jejich udržování. Obdobného postupu se využívalo také při zajišťování jednotnosti rozměrů cihel při výstavbě Babylonu. S postupujícím rozvojem poznání ve všech oborech lidské činnosti narůstá potřeba měření a zkoušení. Lze předpokládat, že tato tendence je trvalá a bude stále od metrologie vyžadovat odpovídající prostředky k dalšímu rozvoji vědy a techniky.

Snahy o sjednocení vah a měr mají dlouhou historii, ale svého naplnění doznaly až přijetím Metrické konvence v roce 1875 v Paříži, kterou podepsalo 18 států. Metrická konvence, která má dnes již 51 členů, je mezinárodní úmluva, kde vedle přijetí metru a kilogramu jako základních jednotek, byl vytvořen mezinárodní metrologický systém k zabezpečení jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

Elektřina se stala každodenní součástí našeho života. S elektřinou vstáváme, s její pomocí pracujeme nebo studujeme, večerní zábava je v mnoha případech podporována také elektřinou. Bez elektřiny, kterou nelze nahradit jinou formou energie, nebudou fungovat například telekomunikace, doprava, informační technika, bankovníctví, zdravotnictví, zásobování aj. Elektřina je prostě všude kolem nás. Je to zboží každodenní potřeby, které musíme koupit a zaplatit. K určení množství spotřebované elektrické energie a následně i ceny, slouží elektroměry. Elektroměr je nezbytnou součástí každého řádného odběrného místa. Instaluje ho distributor a na základě změřených a zaznamenaných hodnot následně probíhá stanovení a vyúčtování spotřebované elektrické energie.

Spektrum používaných elektroměrů je velmi pestré. Od „klasických“ indukčních elektroměrů s otáčejícím se kotoučkem poháněným vířivými proudy, který spotřebovanou elektrickou energii přenáší na mechanické počítadlo, až po statické elektroměry, které je v současné době úspěšně nahrazují. Slovo statický zde znamená, že přístroj nemá pro zjištění spotřeby elektrické energie žádné pohyblivé části. Z toho je zřejmé, že oba typy elektroměrů měří elektrickou energii na zcela jiném principu. Jak si ale poradí s měřením spotřebované energie těch zařízení, jako jsou např. televizory, DVD, zvlhčovače ovzduší, notebooky, stolní počítače a monitory, které jsou všechny vybavené spínanými zdroji, bude popsáno a realizováno měřením v dalších kapitolách. Zde se nabízí otázka, zda bude naměřená spotřeba elektrické energie u obou typů elektroměrů stejná či nikoli.

## 2 Metrologie

Metrologie je samostatný vědní a technický obor, který zahrnuje veškeré poznatky týkající se měření, jejich praktického provádění a hodnocení jejich výsledků.

Metrologie má zásadní význam pro vědecký výzkum, přičemž vědecký výzkum tvoří základ pro rozvoj samotné metrologie. Věda neustále rozšiřuje hranice možného, a fundamentální metrologie sleduje metrologické aspekty těchto nových objevů. Tak vznikají stále dokonalejší metrologické přístroje umožňující badatelům pokračovat v jejich objevech. Pouze ty oblasti metrologie, které se vyvíjejí, mohou být nadále partnerem pro průmysl a výzkum. [4]

Metrologie zahrnuje tři hlavní oblasti činnosti:

- definování mezinárodních jednotek měření (např. metr) a stanovování základních fyzikálních konstant,
- realizace měřicích jednotek vědeckými metodami, například realizace metru s využitím laserových paprsků,
- vytvoření řetězce návaznosti a jeho technické zajištění.

Realizace hlavních úkolů i jejich aplikace v praktické činnosti každého státu vyžaduje vytvoření metrologického systému státu, což je realizováno ve většině zemí včetně České republiky zákonem.

### 2.1 Definice základních pojmů

**Měření** - soubor činností s cílem určení hodnoty veličiny.

**Princip měření** - (fyzikální) jev nebo souhrn (fyzikálních) jevů, na kterých je měření založeno.

**Postup měření** - soubor specificky popsanych činností, které jsou používány při bližie určených měřeních podle dané metody měření. Postup bližie určeného měření je obvykle zaznamenan v dokumentu, který musí být dostatečně podrobný k tomu, aby umožnil pracovníkovi provést měření bez dalších informací.

**Pravá hodnota veličiny** - hodnota, které nabývá veličina za podmínek existujících v okamžiku jejího měření. Pravá hodnota veličiny je hodnota ideální, protože ve skutečnosti nemůže být přesně zjištěna. Za pravou hodnotu veličiny je považována její hodnota nejpravděpodobnější, tj. hodnota, kterou určíme z většího počtu měření opakovaných za stejných podmínek a zatížených pouze náhodnou chybou.

**Konvenčně pravá hodnota veličiny** - hodnota blížící se její pravé hodnotě tak, že pro účel, k němuž je použita, lze její nejistotu – tj. rozdíl mezi ní a pravou hodnotou - zanedbat. Konvenčně pravé hodnoty některých veličin jsou přijaty konvencí jako pravé hodnoty, tj. hodnoty s nulovou nejistotou (např. velikost rychlosti světla ve vakuu).

**(Měřitelná) veličina** - vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně měřit.

**Základní veličina** - jedna z veličin, které jsou v soustavě veličin konvenčně nezávislé.

**Odvozená veličina** - veličina definovaná v soustavě veličin jako funkce základních veličin této soustavy.

**Etalon** - materiální míra, měřidlo, referenční materiál nebo měřicí systém určený k definování, realizaci, uchování nebo reprodukci jednotky nebo jedné či více hodnot některé veličiny mající sloužit jako reference. Podléhá povinné kalibraci.

**Kalibrace** - soubor úkonů, které dávají za určených podmínek závislost mezi hodnotami indikovanými měřicím přístrojem nebo hodnotami reprezentovanými mírou, a mezi příslušnými známými hodnotami měřené veličiny. Kalibrace je souhrn úkonů nutných k přenesení měřicí jednotky z etalonu na jiné měřidlo.

## 2.2 Historický vývoj měření a měřicích jednotek

Starých měřicích jednotek je velké množství. Jejich (dochované) definice byly velmi nedokonalé a hodnoty časově nestálé. Lze říci, že největší „metrologický chaos“ panoval v celém středověku. Počátek (a příčinu) tohoto chaosu lze datovat dobou zakládání a rozvoje měst.

Délkové míry byly nejčastěji odvozovány z význačných rozměrů lidského (např. ve staré Indii také zvířecího) těla, nebo z některých význačných rozměrů okolního „neživého“ světa. Za jednotky délky byly voleny „snadno“ reprodukovatelné tělesné rozměry – palec, dlaň, loket, sáh, stopa apod. Jistou snahou o normalizaci jednotek délky byl jejich stejný název, tato snaha však byla degradována jejich místními hodnotami, odvozenými v řadě případů z tělesných rozměrů místních vládců či jiných hodnostářů (tak např. ve Švýcarsku, zemi to poměrně malé, existovalo ve středověku asi 70 různě dlouhých loktů a zhruba 40 různě dlouhých stop).

V českých zemích (jakž ostatně i v zemích jiných) souvisela snaha o zavedení jistého měrového pořádku se stupněm moci státu a vlády. První takový pokus byl učiněn za panování Přemysla Otakara II (1268). Za základní jednotku délky byl tehdy vybrán jeden pražský (český) loket (přibližně 60 cm), který se rovnal 3 pídím (1 pídí se rovnala 10 prstům, 1 prst se rovnal „šírokosti“ čtyř zrn ječmene položených vedle sebe).

Měrový pořádek byl důrazněji prosazován za Karla IV. Výraznější a také úspěšnější snahu o dosažení měrového pořádku lze však v českých zemích – tak jako jinde – pozorovat až v době manufakturní a později průmyslové výroby. Proto bylo zavedení jednotných měř i vah ve většině států provedeno v historicky poměrně nedávné době. Výjimkou je Anglie, kde byla tato jednotnost zavedena již v roce 1215 Magnou chartou. Ve Francii, která sehrála v oblasti metrologie rozhodující úlohu, byla jednotná míra přijata během velké Francouzské revoluce zákonem v září 1795. Ve Španělsku a Švýcarsku se tak stalo v roce 1801, v Německu, roztržštěném v té době na řadu států a státeků došlo k měrovému sjednocení až v roce 1884.

Na území bývalé Rakousko Uherské monarchie byly od jejího vzniku učiněny tři významnější pokusy o měrové sjednocení.

Poprvé se tak stalo v roce 1655 za vlády Ferdinanda III., dále pak v roce 1725 za Karla VI. a v roce 1772 za Marie Terezie. I když měrová nařízení z uvedených let značně přispěla k postupnému rozvoji měrového pořádku, zásadního měrového sjednocení jimi dosaženo nebylo, a to především pro značnou decentralizovanost měrové služby do jednotlivých království a zemí tvořících Rakousko-Uherskou monarchii. Teprve v roce 1853 byl císařským nařízením zaveden jednotný měrový systém pro celou monarchii, nikoliv však ještě systém metrický. Za jednotné míry byly přijaty jednotky dolnorakouské. V Čechách se tak stalo v roce 1855, na Moravě a ve Slezsku v roce 1856. Za obecně platné byly ustanoveny tyto míry: vídeňský sáh a loket, dolnorakouský máz, vědro a měrice, vídeňská libra a cent. Výsledky toho pokusu o sjednocení měr však nebyly uspokojivé (neexistoval dosud žádný kompetentní centrální orgán, nebyla dostačující kontrola špatně vybavených cejchovních úřadů atd.).

Zásadní obrat ke zlepšení měrového pořádku v r. 1871 po vydání zákona o mírách a váhách, jehož základem již byl metrický měrový systém. Je zajímavé, že tento rakouský zákon platil v českých zemích s různými doplňky a obměnami až do r. 1962.

Ve zmíněném zákoně byly předně definovány jednotky délky a váhy (hmotnosti): metr a kilogram. Plošné a objemové jednotky měly být odvozovány z metru. Samostatně z objemu 1 kg vody byl definován litr. V zákoně byly dále uvedeny jmenovitě názvy a značky nových metrických měrových jednotek s jejich násobky a díly a také vztah nových jednotek k jednotkám starším.

Další události v datech:

- 1962 Zřízení Úřad pro normalizaci a měření a Zákon č. 35/1962 Sb. o měrové službě
- 1963 ČSN 01 1300 Zákonné měrové jednotky
- 1963 Vyhláška Úřadu pro normalizaci a měření č. 61/1963 Sb. o zajišťování správnosti měřidel a měření
- 1966 Zřízení Metrologický ústav v Praze
- 1967 Vyhláška ÚNM č. 102/1967 Sb., kterou se mění a doplňuje vyhláška č. 61/1963 Sb. o zajišťování správnosti měřidel a měření
- 1968 Zřízení Československý Metrologický ústav v Bratislavě s pobočkou v Praze
- 1975 Novelizace Zákona o měrové službě č. 57/1975 Sb.
- 1979 Vyhláška o stanovených měřidlech č. 59/1979 Sb.
- 1980 Soustava jednotek SI (1. 1. 1980)
- 1990 Zákon o metrologii č. 505/1990 Sb.
- 1991 Vyhláška č. 69/1991 Sb., kterou se provádí zákon o metrologii
- 1991 Zřízení Státní metrologický inspektorát
- 1993 Zákon č. 20/1993 Sb. ČNR o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a zkušebnictví
- 1993 Zřízení Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- 1993 Zřízení Český metrologický institut (ČMI)
- 1995 Obnova a rozšíření soustavy českých národních etalonů a metrologických služeb
- 1996 ČMI přijat za přidruženého člena EUROMET
- 1998 ČMI přijat za plnoprávného člena EUROMET
- 2000 Novelizován zákon o metrologii

## 2.3 Měřicí jednotky

Podmínkou možnosti kvantifikace ve vytvořené soustavě veličin je vytvoření odpovídající soustavy měřicích jednotek. 11. Generální konference vah a měr (CGPM) zavedla v roce 1960 Mezinárodní soustavu jednotek SI jako ucelenou soustavu jednotek.

### 2.3.1 Základní jednotky

Soustavu SI dnes tvoří sedm základních jednotek, které spolu s odvozenými jednotkami tvoří ucelenou soustavu. Kromě jednotek SI jsou pro používání schváleny i některé další jednotky, které nejsou jednotkami SI. Oficiální materiál Mezinárodního úřadu vah a měr, vydávaný po zasedáních Generální konference obsahuje platná usnesení i aktuální stav v oblasti měřicích jednotek. Jediným právním předpisem, který v České republice obsahuje definice základních jednotek, je zákon 505/1990 Sb., ve znění zákona č. 119/2000 Sb., o metrologii.

*Tab. 2.1 Základní jednotky SI*

Veličina	Základní jednotka	Značka
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Elektrický proud	ampér	A
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Svítivost	kandela	cd

Definice a realizace každé základní jednotky SI se postupně upravuje s tím, jak metrologický výzkum odhaluje možnosti přesnější definice a realizace jednotky. Příkladem může být vývoj definice jednotky délky.

Definice metru z roku 1889 vycházela z mezinárodního prototypu z platin-iridia uloženého v Paříži. V roce 1960 byl metr nově definován jako 1 650 763,73 násobek vlnové délky spektrální čáry kryptonu 86. Kolem roku 1983 již tato definice přestala dostačovat a bylo rozhodnuto metr nově definovat jako délku dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za časový interval 1/299 792 458 sekundy, vyjádřenou vlnovou délkou záření z hélum-neonového jódem stabilizovaného laseru. Tyto nové definice snížily relativní nejistotu realizace jednotky z  $10^{-7}$  m na  $10^{-11}$  m. [4]

Ze základních jednotek SI se zatím nepodařilo exaktně definovat jen jednotku hmotnosti, i když na tomto problému pracuje hned několik metrologických institutů, aby hodnota této veličiny byla reprodukovatelná na základě fyzikálních principů a nebyla nadále závislá na prototypu kilogramu a od něj odvozených etalonů.

## Definice základních jednotek SI

Za jednotlivými definicemi jsou kurzivou uvedena příslušná usnesení Generálních konferencí vah a měr (CGPM) a rok jejich konání pro představu, kdy byly uvedené poslední definice přijaty. [4]

**Metr** (m) je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za  $1/299\,792\,458$  s. 17. CGPM (1983).

**Kilogram** (kg) je hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu, uchovávaného v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry (BIPM) v Sèvres. 3. CGPM (1901).

**Sekunda** (s) je doba rovnající se 9 192 631 770 periodám záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133. 13. CGPM (1967).

**Ampér** (A) je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými, přímými, nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 m, vyvolá mezi nimi stálou sílu rovnou  $2 \cdot 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodičů. 9. CGPM (1948).

**Kelvin** (K) je  $1/273,16$  díl termodynamické teploty trojného bodu vody. 13. CGPM (1967) a upraveno 23. CGPM (2007).

*Poznámka: Celsiova teplota  $t$  je definována jako rozdíl  $t = T - T_0$  mezi dvěma termodynamickými teplotami, kde  $T_0 = 273,15$  K. Interval nebo rozdíl teplot může být vyjádřen buď v kelvinech nebo ve stupních Celsia, označení  $^{\circ}\text{C}$ .*

**Mol** (mol) je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kg nuklidu uhlíku  $^{12}\text{C}$ . Při udávání látkového množství je třeba elementární entity specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže určená seskupení částic. 14. CGPM (1971).

**Kandela** (cd) je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o kmitočtu  $540 \cdot 10^{12}$  hertzů a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 wattu na steradián. 16. CGPM (1979).

### 2.3.2 Odvozené jednotky a jednotky mimo SI

Odvozenou jednotkou je jednotka míry odvozené veličiny v dané soustavě veličin. Odvozené jednotky SI jsou odvozeny od základních jednotek SI v souladu s fyzikální souvislostí mezi danými veličinami. [4]

**Příklad:** Z fyzikální souvislosti mezi veličinou délky měřenou v jednotce m a veličinou času měřenou v jednotce s, lze odvodit veličinu rychlosti měřenou v jednotce m/s.

Speciální názvy pro jednotku výkonu: název volt-ampér (značka „VA“), je-li použita, vyjadřuje zdánlivý výkon střídavého elektrického proudu, a var (značka „var“), je-li použita, vyjadřuje jalový elektrický výkon. Jednotka var není zahrnuta v usneseních zasedání CGPM.

Tab. 2.2 Odvozené jednotky SI

Odvozená veličina	Odvozená jednotka	Značka
Plocha	čtvereční metr	$m^2$
Objem	krychlový metr	$m^3$
Rychlost	metr za sekundu	$m \cdot s^{-1}$
Zrychlení	metr za sekundu na druhou	$m \cdot s^{-2}$
Úhlová rychlost	radián za sekundu	$rad \cdot s^{-1}$
Úhlové zrychlení	radián za sekundu na druhou	$rad \cdot s^{-2}$
Hustota elektrického proudu	ampér na metr čtverečný	$A \cdot m^{-2}$
Intenzita elektrického pole	volt na metr	$V \cdot m^{-1}$
Měrná tepelná kapacita	joule na kilogram kelvin	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Moment síly	newton metr	$N \cdot m$
Jas	kandela na čtvereční metr	$cd \cdot m^{-2}$

Tab. 2.3 Odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou

Odvozená veličina	Odvozená jednotka SI (zvláštní pojmenování)	Značka (zvláštní značka)	V jednotkách SI	V základních jednotkách SI
Kmitočet	hertz	Hz		$s^{-1}$
Energie, práce, mn. tepla	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Výkon, zářivý tok	watt	W	$J/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Elektrický náboj, množství elektřiny	coulomb	C		$s \cdot A$
Rozdíl elektr. potenciálu, elektromotorická síla	volt	V	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Elektrická kapacita	farad	F	$C/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Elektrický odpor	ohm	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Elektrická vodivost	siemens	S	$A/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Magnetický tok	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Magnetická indukce, hustota magnetického toku	tesla	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Indukčnost	henry	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Světelný tok	lumen	lm	$cd \cdot sr$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
Osvětlení	lux	lx	$lm/m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
Aktivita (radionuklidu)	becquerel	Bq		$s^{-1}$
Absorbovaná dávka, měrná energie (předaná)	gray	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Dávkový ekvivalent	sievert	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Rovinný úhel	radián	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$
Prostorový úhel	steradián	sr		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$

- Jednotky mimo SI

Tab. 2.4 Jednotky mimo SI, které jsou povoleny

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
Čas	minuta	min	1 min = 60 s
	hodina	h	1 h = 60 min = 3600 s
	den	d	1 d = 24 h
Rovinný úhel	stupeň	°	1° = (π/180) rad
	minuta	′	1′ = (1/60)° = (π/10 800) rad
	vteřina	″	1″ = (1/60)′ = (π/648 000) rad

Tab. 2.5 Jednotky mimo SI, které jsou povoleny k používání v rámci specifických oborů

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
Délka	míle námořní		1 námořní míle = 1852 m
Rychlost	uzel		1 námořní míle za hodinu = = (1852/3600) m/s
Hmotnost	karát		1 karát = 2 · 10 <sup>-4</sup> kg = 200 mg
Lineární hustota	tex	tex	1 tex = 10 <sup>-6</sup> kg/m = 1 mg/m
Mohutnost optických systémů	dioptrie		1 dioptrie = 1 m <sup>-1</sup>
Plocha	ar	a	1 a = 100 m <sup>2</sup>
Plocha	hektar	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
Tlak	bar	bar	1 bar = 100 kPa = 10 <sup>5</sup> Pa
Délka	ångström	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
Průřez	barn	b	1 b = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

Tab. 2.6 Jednotky mimo SI, které jsou povoleny v rámci specifických oborů a jejichž hodnoty jsou určovány experimentálně

Veličina	Jednotka	Značka	Definice	V jednotkách SI
Energie	elektronvolt	eV	1 eV je kinetická energie 1 elektronu procházejícího potenciálním rozdílem 1V ve vakuu	1 eV = = 1,602 177 33 (49) · 10 <sup>-19</sup> J
Hmotnost	jednotka atomové hmotnosti	u	1 u se rovná 1/12 zbytkové hmotnosti neutrálního atomu nuklidu <sup>12</sup> C v základním stavu.	1 u = = 1,660 540 2 (10) · 10 <sup>-27</sup> kg
Délka	astronomická	ua		1 ua = = 1,495 978 706 91 (30) · 10 <sup>11</sup> m



### 2.3.3 Předpony a jejich značky pro označení dekadických násobků

Tyto jednotky se tvoří pomocí předpon obvykle podle třetí mocniny deseti. Ve výjimečných případech je možno použít i předpon vyjadřující první nebo druhou mocninu deseti. Značka předpony se spojuje se značkou jednotky v jeden celek. Předpona se spojuje s názvem jednotky v jedno slovo. Složené předpony, tedy předpony vytvořené sloučením několika níže uvedených předpon se nesmí používat.

Tab. 2.7 Předpony a jejich označení

Faktor	Předpona	Značka	Faktor	Předpona	Značka
$10^1$	deca	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hecto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	mili	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

## 2.4 Domácí a mezinárodní metrologické organizace

**Mezinárodní úřad pro váhy a míry** – (Bureau International des Poids et Mesures **BIPM**), který vznikl spolu s Metrickou konvencí, sídlí v Sevresu Paříže a je vědeckou institucí. [1]

**Generální konference vah a měr** – (Conference Generale des Poids et Mesures – **CGPM**) je vrcholným orgánem Metrické konvence a schází se každé čtyři roky a tvoří ji delegáti členských zemí.

**Mezinárodní výbor pro váhy a míry** – (Comite International des Poids et Mesures **CIPM**), je řídicím orgánem mezi Generálními konferencemi, má 18 členů, volených na CGPM)

**Mezinárodní organizace pro legální metrologii** – (Organisation Internationale De Metrologie Legale – OIML) byla založena v roce 1955 a zabývá se speciálně legislativní zákonnou stránkou metrologie.

**ÚNMZ** - Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

**ČMI (v anglických textech CMI)** - Český metrologický institut, národní metrologický ústav České republiky, anglicky se uvádí „Czech Metrology Institute“

**ČIA** - Český institut pro akreditaci

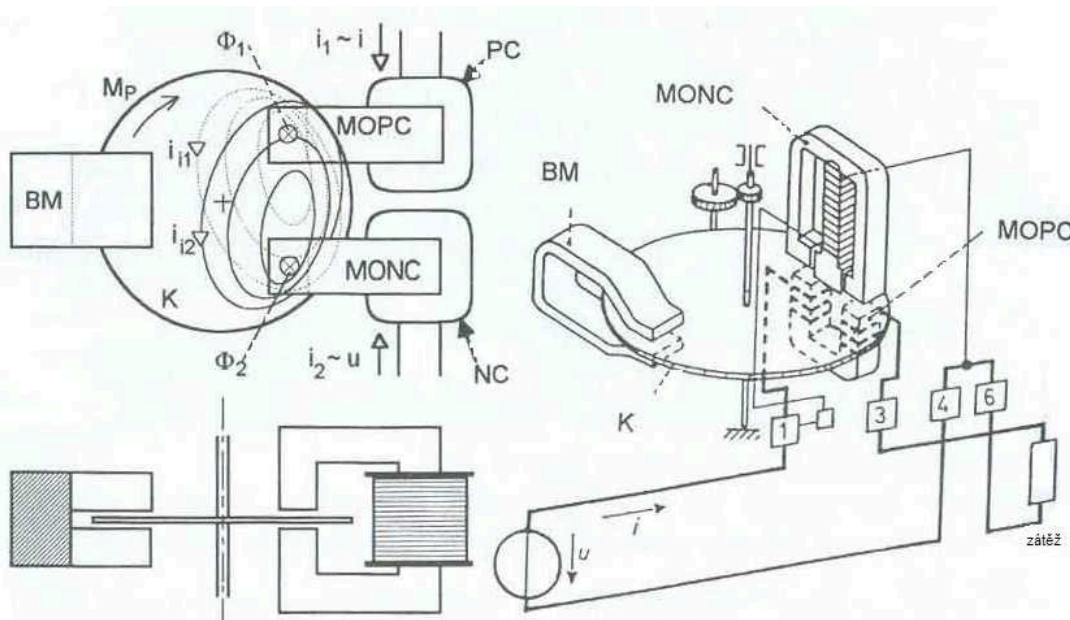
**ČNI** - Český normalizační institut

### 3 Činnost a vlastnosti indukčních a statických elektroměrů

#### 3.1 Indukční elektroměry

Indukční měřicí ústrojí využívá hliníkový kotouček umístěný otočně ve vzduchové mezeře dvojice elektromagnetů. Vířivé proudy indukované v kotoučku elektromagnety společně s magnetickými poli těchto elektromagnetů vytvářejí pohybový moment. Proudovou cívku pod kotoučem na dvouramenném jádře protéká měřený proud. Nad kotoučem je trojsloupkové jádro s napěťovou cívku. Napěťová cívka má díky uzavřenému železnému jádru oproti proudové cívce velkou indukčnost, a proto je při činné zátěži sítě mezi magnetickými toky obou cívek fázový posun téměř  $90^\circ$ . Tyto magnetické toky vytvářejí podobně jako v jednofázovém indukčním motoru točivé magnetické pole, které otáčí kotoučem, kterým protékají vířivé proudy. Točivý moment je úměrný proudu v proudové cívce, tedy v měřené síti odběratele elektrické energie. Brzdicí magnet vytváří v kotouči vířivé proudy, které zabráňují tomu, aby se točil rychleji než to odpovídá odebíranému proudu, a aby se setrvačností netočil i při poklesu nebo zastavení průtoku proudu. Otáčející se kotouč pohání bubínkové mechanické počítadlo s takovým (šnekovým) převodem, že údaj na počítadle odpovídá spotřebě elektrické energie v kWh. Konstanta elektroměru  $k$  udává, kolik otáček kotouče odpovídá 1 kWh a pro jednofázové bytové elektroměry bývá  $k = 375$  a pro trojfázové elektroměry  $k = 75 \text{ r / kWh}$  (75 otáček (rotací) na 1 kWh). Pomocí této konstanty lze vypočítat odebíraný výkon zapnutého spotřebiče. Trojfázový elektroměr pro čtyřvodičovou síť má tři magnetická ústrojí působící na dva hliníkové kotouče na společné svislé ose. [8]

Stejnoseměrné proudy neindukují napětí, a proto toto ústrojí nelze použít pro stejnosměrná měření, neměří ani stejnosměrné složky časově proměnných veličin.



Obr. 3.1 Princip a konstrukce indukčního ústrojí - proud indukovaný jedním z elektromagnetů vytváří moment v interakci s polem druhého elektromagnetu

V Obr. 3.1 je:	PC	proudová cívka,
	MOPC	magnetický obvod proudové cívky,
	NC	napěťová cívka,
	MONC	magnetický obvod napěťové cívky,
	BM	brzdící magnet,
	K	hliníkový kotouček.

Konstrukce elektroměrů:

- Napěťový elektromagnet je obvykle nad kotoučkem (jeho cívka má mnoho závitů tenkého drátu na středním sloupku E - jádra a tedy velkou indukčnost),
- Proudový elektromagnet je pod kotoučkem pod napěťovým elektromagnetem (jeho cívka má malý počet závitů silného vodiče na krajních sloupcích E - jádra),
- Kotouček prochází mezerou magnetického obvodu permanentního magnetu, který vyvozuje brzdící moment. Změnou polohy tohoto magnetu lze měnit konstantu elektroměru  $k_{wh}$ ,
- Hřídel elektroměru je přes převody připojen k mechanickému počítadlu otáček.

Jsou-li oba proudy  $i_1$  a  $i_2$  harmonické, jsou i jimi vyvolané magnetické toky (přibližně) harmonické a střední hodnotu pohybového momentu lze vyjádřit vztahem:

$$M_{ps} = k' \cdot \omega \cdot \Phi_{1m} \cdot \Phi_{2m} \cdot \sin \psi \approx k \cdot \omega \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \psi \quad (3.1)$$

kde jsou:	$k'$ a $k$	konstanty závislé na konstrukci přístroje,
	$\Phi_{1m}$ a $\Phi_{2m}$	maximální hodnoty magnetických toků elektromagnetů,
	$I_1$ a $I_2$	efektivní hodnoty proudů obou elektromagnetů,
	$\psi$	fázový rozdíl obou fázorů proudu,
	$\omega$	kruhová frekvence magnetických toků a proudů.

Dnešní indukční elektroměr je levný a relativně přesný přístroj, schopný pracovat řadu let (12 - 16) bez údržby v širokém pásmu změn zátěže a parametrů okolí.

Indukční elektroměr nemá žádné direktivní pružiny, rovnováha při rovnoměrném otáčení je dána rovností pohybového a brzdícího momentu.

Spotřeba energie  $\Delta W$  za dobu měření je:

$$\Delta W = k_{wh} \cdot \Delta N \quad (3.2)$$

kde:	$k_{wh}$	je	konstanta elektroměru (Wh/otáčku),
	$\Delta N$		změna údaje počítadla (otáčky).

Nevýhodou indukčních elektroměrů jsou velké chyby v obvodech s neharmonickými napětími a proudy, způsobené frekvenční závislostí přístroje. [8]

### 3.1.1 Používané typy

- Elektroměry Křižík řady ET 32. a ET 42.

Třífázové elektromechanické elektroměry typové řady ET 32. a ET 42. se používají na měření elektrické energie v třífázových soustavách v domácnostech, v průmyslu i v energetice se jmenovitým napětím do 500 V a frekvencí 50 Hz, nebo 60 Hz. Vyrábějí se pro zapojení přímé i nepřímé (přes měřicí transformátory proudu nebo přes měřicí transformátory proudu a napětí). Splňují požadavky na měření ve třídě přesnosti 2, nebo 1 podle normy IEC 620 53-11 a IEC 620 52-11 (watthodinové), ve třídě přesnosti 3 podle normy IEC 601 45 (varhodinové).

Kromě jednosazbového provedení se vyrábějí ještě typy s přídatnými zařízeními pro sazbové měření, jako jsou: dvojsazbový, trojsazbový počítací strojek, měřič maxima, dvojsazbový počítací strojek s měřičem maxima, zařízení pro dodávku a odběr. Samostatnou skupinu tvoří vysílací elektroměry pro impulsní měření. [8]

Technické parametry:

- Napětový rozsah 3 x 220/380 V a 3 x 230/400 V
- Přímé měření proudu 5 – 20 A, 10 – 40 A, 10 – 60 A, 20 – 100 A, 20 – 120 A
- Nepřímé měření proudu x/5 A (x/1 A)
- Třídy přesnosti: činná energie třída 1 nebo 2 podle IEC 620 53-11 a IEC 620 52-11
- jalová energie třída 3 podle IEC 601 45
- Frekvence: 50 nebo 60 Hz
- Jmenovitá rychlost kotouče při  $I_n$ : 120 ot/min.
- Hmotnost otáčivého systému: 47 g
- Pracovní teplota: - 10 °C .... + 50 °C



Obr. 3.2 Indukční elektroměr Křižík

- Elektroměry Actaris/AEG řady C114

Elektroměry řady C114 představují základní rodinu indukčních elektroměrů Actaris/AEG, které se vyrábí v nejrůznějších modifikacích. C114 je typem konstruovaným pro moderní technologii výroby a precizní způsob nastavování na speciálních stanicích. Dosahuje tak velmi vyváženého nastavení cejchovní křivky s dlouhodobou stabilitou. C114 je montován ve spolupráci s JČE na speciální lince již více než 7 let. Po montáži je opatřen zároveň plombou akreditované zkušebny JČE opravňující ponechat elektroměr v síti

- u přímých typů 16 let
- u převodových typů 12 let

V současné době je nasazeno v síti v ČR více než 250 000 kusů těchto elektroměrů v oblasti maloodběru a téměř 20 000 kusů typů vhodných pro nasazení v oblasti velkoodběru.

### 3.1.2 Princip Ferrarisova motoru

V polovině osmdesátých let 19. století objevil v Americe prof. Thomson princip otáčení kotouče v nesouměrném střídavém magnetickém poli. Roku 1888 prof. Galileo Ferraris v Turíně převedl tento princip v elektrodynamický zákon: „Střídavé účinky dvou ve fázi posunutých magnetických polí na uzavřený a v ložiskách otáčivě uložený vodič ve tvaru zvonu, bubnu nebo kotouče způsobují jeho otáčení“. Tento elektrodynamický indukční zákon je nazýván Ferrarisovým, neboť jej jako první podal k vědeckému přezkoumání na Akademii věd v Turíně.

V předložené vědecké práci podával Ferraris zároveň návrh na využití tohoto zákona u elektroměrů na střídavý proud. Dokázal, že točivý pohyb bubnu – kotouče je úměrný čtverci protékajícího proudu vinutím a tedy také čtverci vybuzeného magnetického toku protékajícím proudem. V důsledku to znamená, že výsledná rychlost otáčení vhodně brzděného kotouče je přímo úměrná velikosti procházejícího proudu.

Tento nejzákladnější návrh využívá indukčních reakcí vířivých proudů v otáčivém vodiči (kotouči – bubnu), indukovaných dvěma střídavými magnetickými poli časově a prostorově posunutými, čímž se vytvoří tzv. postupné pole, které při svém postupu s sebou unáší i otáčivý vodič – kotouč.

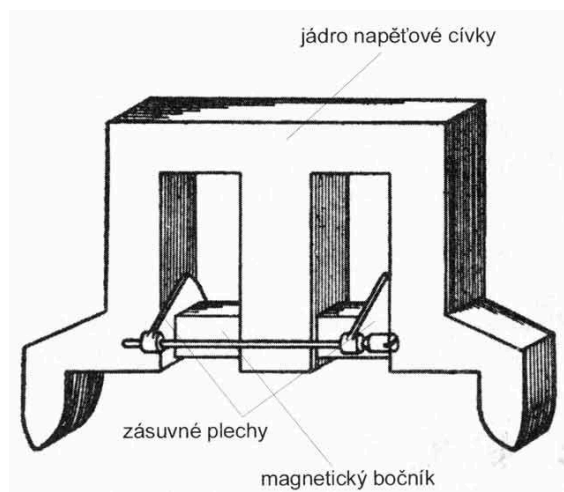
Má-li působit na kotouč největší tažná síla, musí být při zatížení bez indukce fázový posun mezi oběma účinnými (hnacími) magnetickými toky  $90^\circ$ . Tato podstata dala tehdejší konstrukcím elektroměrů na střídavý proud zcela nový směr. Po svém vynálezcí se tento druh elektroměrů nazývá elektroměry Ferrarisovy nebo také indukční.

#### 3.1.2.1 Působení a účel jádra napětí

Vlivem ztrát v železe a mědi, způsobených převážně vířivými proudy a částečně hysterezí, jsou vzájemné vektorové poměry zúčastněných prvků u skutečného elektroměru poněkud složitější, než by tomu bylo u ideálního elektroměru, jak je popsáno v úvodu kapitoly 3.1.

Připojí-li se cívka na síťové napětí  $U$ , prochází jí proud  $I_U$ , jehož velikost i fázový posun jsou závislé na ohmickém, indukčním a impedančním odporu cívky s jádrem. Jelikož velikosti těchto odporů jsou pro velký počet závitů slabého drátu dosti značné, je proud  $I_U$  velmi malý a za síťovým napětím  $U$  se zpožďuje o úhel  $\varphi_U$ . Přiváděné napětí  $U$  zároveň vyrovnává vnitřní elektromotorickou sílu, která pokrývá všechny dílčí složky elektromotorických sil, protlačující proud  $I_U$  příslušnými odpory. Na nich je závislá velikost a fáze elektromotorických sil a také velikost a poloha vektorů jednotlivých složek napětí.

Vektor  $I_U \cdot R_U$  napětí je povahy ohmické a je proto ve fázi s proudem  $I_U$  (vektor jeho elektromotorické síly bude o  $180^\circ$  opožděn), a vektor napětí kryjící magnetický rozptyl ve vzduchu předbíhá proud o  $90^\circ$ . Ohmický a indukční odpor cívky způsobují úbytek napětí  $U_U$  na cívce, takže skutečně činnosti se zúčastní jen impedanční napětí  $U_Z$ , které svou elektromotorickou silou protlačuje proud  $I_U$  napěťovou cívkou a vyrábí hnací tok  $\Phi_U$ . Velmi nepatrná část hnacího magnetického toku  $\Phi_U$  si nalézají také jiné cesty, a tedy celý tento tok nebývá sdružen s kotoučkem, a nazýváme ho ztrátový vnitřní posun jádra napětí  $\delta_U$ . V ideálním případě (pro zajištění největšího mechanického momentu působícího na kotouček) je hnací magnetický tok  $\Phi_U$  od hnacího toku jádra proudové cívky  $\Phi_I$  posunut o  $90^\circ$ . Toto natočení zajišťuje měděný plíšek ve tvaru křídla, který je umístěn v mezeře mezi příčkou a vnějším ramenem jádra tvaru písmene E, jak je vidět na Obr. 3.3.

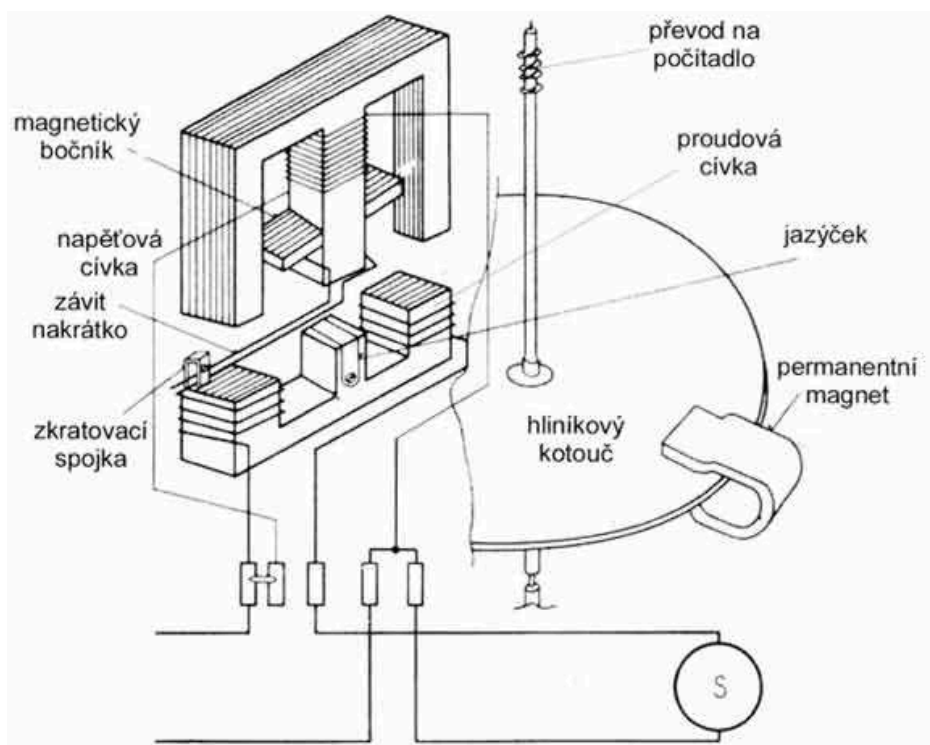


Obr. 3.3 Napěťové jádro s bočníky

### 3.1.2.2 Působení a účel jádra proudu

Ideální účel proudového jádra je takový, aby vyrábělo hnací tok  $\Phi_I$  ve fázi s proudem  $I$ , takže ve spojení s ideálním požadavkem kladeným na jádro napětí, bude posun mezi oběma hnacími toky požadovaných  $90^\circ$ .

Pro ztráty v železe a mědi však tento požadavek nelze uskutečnit. S vědomím prakticky nemožného  $90^\circ$  posunu mezi napětím  $U$  a hnacím tokem  $\Phi_U$  u jádra napětí, požaduje se takový tvar proudového jádra, aby mezi vzájemně působícími hnacími toky obou jader  $\Phi_U$  a  $\Phi_I$  byl při zatížení bez indukce fázový posun  $90^\circ$ . Ke tvaru napěťového jádra tvaru písmene E patří jádro proudu ve tvaru písmene U, na jehož ramenech jsou nasazeny cívky za sebou spojené, jak znázorňuje Obr. 3.4.



Obr. 3.4 Uspořádání napěťové a proudové cívky elektroměru

Přivádí-li se do cívek proud  $I$ , kterým je zatěžován spotřebič, vznikne na obou koncích cívek potenciální rozdíl, odpovídající napětí  $U_I$ , jehož vektor vlivem indukčnosti proudových cívek předbíhá proud  $I$  o úhel  $\varphi_I$ . Toto napětí vyvolá, podobně jako u jádra napětí, v proudovém vinutí výslednou elektromotorickou sílu, která pokrývá dílčí elektromotorické síly, vzniklé na odporu ohmickém  $R_I$ , indukčním  $\omega \cdot L_I$  a impedančním  $Z_I$ . Jednotlivé elektromotorické síly jsou kryty příslušnými napětími, na ohmickém odporu je to napětí  $I \cdot R_I$ , na indukčním  $I \cdot \omega L_I$  a na impedančním  $I \cdot Z_I$ , přičemž současně vzniká hnací tok proudového jádra  $\Phi_I$ . Tento tok je vlivem ztrát opožděn proti proudu  $I$  o malý ztrátový úhel  $\delta_I$ , který můžeme vhodnou volbou průřezu jádra minimalizovat.

Podobně jako u jádra napětí vznikají i u proudového jádra nepatrné ztráty způsobené rozptylem hnacího toku  $\Phi_I$ , takže indukovaná elektromotorická síla v kotoučku bude ve skutečnosti menší.

### 3.1.2.3 Vzájemné působení jádra napětí a proudu

Působení elektromagnetických prvků jádra napětí a proudu se navzájem doplňují [9]. Podle obecné podmínky správné činnosti elektroměru má být mezi magnetickými toky, které vyrábějí v kotoučku elektromotorické síly fázový posun:

$$\psi = 90^\circ - \varphi \quad (3.3)$$

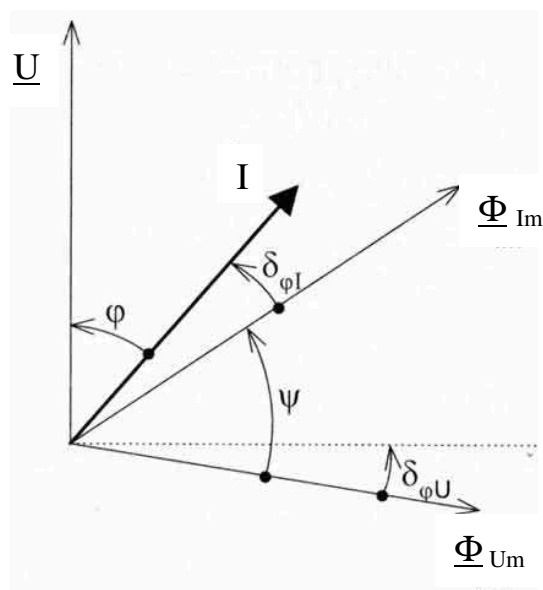
Vezmou-li se v úvahu ztrátové vnitřní posuny jader  $\delta_U$  a  $\delta_I$ , způsobené wattovými ztrátami, pak můžeme psát:

$$\psi = 90^\circ - \varphi + \delta_U - \delta_I \quad (3.4)$$

Z rovnice vyplývá, že by teprve při stejně velkých posunech  $\delta_U$  a  $\delta_I$  byla splněna podmínka správné činnosti – ovšem za předpokladu, že hnací toky  $\Phi_U$  a  $\Phi_I$  jsou zcela sdruženy jak s primárními závití svých cívek, tak s kotoučkem. Ve skutečnosti tomu tak není.

Má-li tedy indukční elektroměr měřit správně, musí se ztrátové vnitřní posuny jader napětí a proudu navzájem vyrovnávat (seřizovat), aby byla splněna základní podmínka (3.3). Vyrovnání vnitřních posunů lze dosáhnout jedině změnou ztrátových vnitřních posunů  $\delta_U$  a  $\delta_I$ , jelikož jsou závislé na wattových ztrátách. Přesné vzájemné vyrovnání těchto úhlů se seřizuje buď měděným plíškem, který zasouváme více nebo méně do mezery jádra napětí, nebo pomocí několika závitů navinutých na středu jádra proudu, které jsou spojeny měnitelným odporem. V obou případech se reguluje více či méně rozptylový, případně hnací tok napětového nebo proudového jádra, a podle vzniklých ztrát se natáčí vektory magnetických toků současně s vektory elektromotorických sil.

Po tomto vyrovnání nepříznivých vlivů, vyvolaných ztrátami v železe, v mědi a rozptylem hnacích toků, přiblíží se vzájemné působení jader činnosti ideálního elektroměru. Společný účinek jádra napětí a jádra proudu na kotouček v něm tedy vyvolá točivý moment.

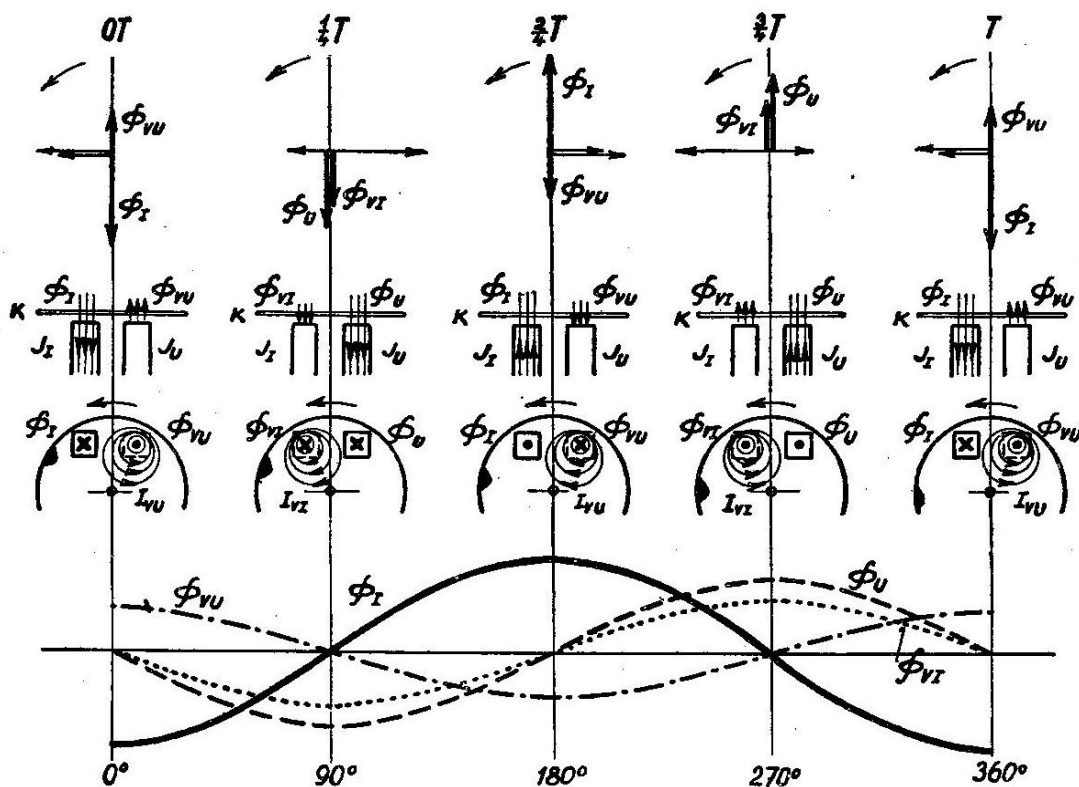


Obr. 3.5 Zjednodušený fázorový diagram indukčního ústrojí

#### 3.1.2.4 Točivý moment kotouče

Časově rozvinutý indukčně - elektromagnetický vzájemný účinek jádra napětí, jádra proudu a kotouče se projevuje točivým momentem elektroměrového kotouče.

Časové změny zúčastněných činitelů této činnosti se neustále periodicky opakují právě tak, jak se periodicky mění hodnoty střídavého napětí a proudu. Mění-li se sinusově, pak lze časový průběh magnetických toků v jádrech i v kotouči přehledně znázornit podle Obr. 3.6.



Obr. 3.6 Činnost ideálního indukčního elektroměru



Z průběhu křivek magnetických polí je možné v kterémkoliv okamžiku vyčíst, které magnetické pole právě způsobuje otáčivý moment kotouče. Také je vidět, že se vzájemného působení zúčastní vždy pevné pole jednoho z jader a volné pole v kotouči, indukované tokem druhého pole právě nepůsobícího jádra, tedy: tok  $\Phi_U$  spolupůsobí v určitém okamžiku s tokem  $\Phi_{VI}$  a tok  $\Phi_I$  vždy o  $\frac{1}{4}$  periody později spolupůsobí jen s tokem  $\Phi_{VU}$ . Vzájemným účinkem každé dvojice toků vzniknou v kotouči točivé momenty, jejichž největší hodnoty mají postupně časový odstup  $\frac{1}{4}$  periody. [9]

Točivý moment, vyvolaný v kotouči společným účinkem první dvojice toků ( $\Phi_U$  a  $\Phi_{VI}$ ), jejichž vektory mají tentýž směr i smysl, je dán rovnicí:

$$M_{t1} = k_{t1} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_{VI} \quad (3.5)$$

U druhé dvojice magnetických toků souhlasí sice směr, avšak smysl vektoru  $\Phi_I$  je proti smyslu toku  $\Phi_{VU}$ . Považuje-li se smysl nahoru za kladný, pak vektor toku jádra proudu, směřující v uvažovaném okamžiku dolů, nutno pro matematický výpočet označit znaménkem mínus, a pro točivý moment způsobený těmito toky lze psát:

$$M_{t2} = -k_{t2} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_{VU} \quad (3.6)$$

Tyto rovnice jsou platné jen při  $\varphi = 0^\circ$  (bezindukční zatížení). Při indukčním zatížení, kdy  $\varphi$  je větší než  $0^\circ$ , musíme do rovnic (3.5) a (3.6) dosadit skutečně zúčastněné činné složky toků:

$$\begin{aligned} M_{t1} &= k_{t1} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_{VI} \cdot \cos \varphi \\ &= k_{t1} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_{VI} \cdot \cos(90^\circ - \psi) \\ &= k_{t1} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_{VI} \cdot \sin \psi \end{aligned} \quad (3.7)$$

Podobnou rovnicí je dán točivý moment druhé dvojice toků:

$$\begin{aligned} M_{t2} &= -k_{t2} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_{VU} \cdot \cos \varphi \\ &= -k_{t2} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_{VU} \cdot \cos(90^\circ - \psi) \\ &= -k_{t2} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_{VU} \cdot \sin \psi \end{aligned} \quad (3.8)$$

Toky  $\Phi_{VI}$  a  $\Phi_{VU}$  vznikají vířivými proudy v kotouči  $I_{VI}$  a  $I_{VU}$ , které jsou způsobeny elektromotorickými silami indukovanými změnami magnetických toků  $\Phi_I$  a  $\Phi_U$  podle rovnice:

$$E_{ms} \equiv U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.9)$$

Lze tedy obecně napsat, že generace elektrického pole časově proměnným magnetickým polem je vyjádřena Faradayovým zákonem elektromagnetické indukce ve tvaru,

$$U \equiv \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.10)$$

podle něhož elektromotorická síla (elektrické napětí)  $U \equiv \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$  indukovaná podél uzavřené křivky C je úměrná rychlosti, s jakou se mění magnetický tok  $\Phi \equiv \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$  plochou S obepínanou touto

křivkou C. Křivka C a libovolná plocha S, jíž křivka obepíná, jsou vzájemně orientovány pravotočivě. V integrálu na pravé straně nezáleží na volbě plochy S obepínané danou křivkou C, protože magnetické pole je nezhřídlové ( $\text{div } \mathbf{B} = 0$ ). Převedením křivkového integrálu na levé straně pomocí Stokesovy věty na plošný integrál dostaneme zákon elektromagnetické indukce vyjádřený v diferenciálním tvaru:

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt} \quad (3.11)$$

Časové změny magnetického toku (3.9) a (3.10) jsou dány kmitočtem  $f$ , z čehož plyne:

$$E_{msI} = U_I = k_1 \cdot \Phi_I \cdot \omega \quad (3.12)$$

$$E_{msU} = U_U = k_2 \cdot \Phi_U \cdot \omega \quad (3.13)$$

V konstantách  $k_1$  a  $k_2$  je zahrnut vliv konstrukčního uspořádání ústrojí a vodivost kotouče  $G$ . Čím je vodivost kotouče větší, tím je silnější indukovaná elektromotorická síla. Pro zdůraznění této závislosti, je vodivost kotouče v dalších rovnicích z konstanty vyjmuta.

Za elektromotorické síly  $E_{msI}$  a  $E_{msU}$  můžeme dosadit toky  $\Phi_{VI}$  a  $\Phi_{VU}$ , protože jsou elektromotorickými silami vyráběny a jim tedy úměrné:

$$\Phi_{VI} = k_3 \cdot \Phi_I \cdot \omega \cdot G \quad (3.14)$$

$$\Phi_{VU} = k_4 \cdot \Phi_U \cdot \omega \cdot G \quad (3.15)$$

Dosazením těchto činitelů do rovnic (3.5) a (3.6) lze napsat obecný tvar rovnic točivých momentů jako:

$$M_{t1} = k_{t3} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \psi \cdot \omega \cdot G \quad (3.16)$$

$$M_{t2} = -k_{t4} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \psi \cdot \omega \cdot G \quad (3.17)$$

Výsledný točivý moment, působící na kotouč elektroměru, je tedy roven součtu obou momentů, při čemž znaménko – v rovnici (3.17) je možné vypustit, protože je již vyloučeno polohou jader. Podle Obr. 3.6 je moment kladný, jestliže je při souhlasných pólech proti směru točení nejdříve pól vířivých proudů a potom pól jednoho z jader. Jsou-li zúčastněné póly nesouhlasné a měly-li by tentýž sled prostorového rozmístění jako při pólech souhlasných, pak by byl jimi způsobený moment záporný. Avšak tím, že pól vířivých proudů je při nesouhlasných pólech teprve za pólem jednoho z jader, dosáhne se opět kladného smyslu točivého momentu.

Výsledný točivý moment elektroměrového kotouče lze tedy jednoduše sloučit do rovnice:

$$\begin{aligned} M_t &= (k_{t3} + k_{t4}) \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \psi \cdot \omega \cdot G \\ &= k_t \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \psi \cdot \omega \cdot G \end{aligned} \quad (3.18)$$

Vyjádřeno slovy, je točivý moment elektroměru závislý na součinu hnacích toků napětí a proudu prostupujících kotoučem, na sinu úhlu, které svírají vektory těchto toků, na úhlové frekvenci obou toků ( $\omega = 2\pi f$ ) a na vodivosti elektroměrového kotouče. [9]

### 3.1.2.5 Výpočet mechanického momentu působícího na kotouček

Jednofázový indukční elektroměr určený pro měření spotřeby el. energie v domácnostech má relativní permeabilitu prostředí  $\mu_r = 4000$  a měrný elektrický odpor Al kotouče  $\rho = 0,02874 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ .

Tab. 3.1 Technické údaje elektroměru udávané výrobcem [10]

Typ: ET 926, výrobce Křižík			
Výrobní číslo	8618644	Vlastní spotřeba proudové cívky	0,18 VA
Jmenovité napětí	230 V	Počet závitů proudové cívky	6
Proudový rozsah	10 – 60 A	Délka vinutí proudové cívky	0,25 m
Jmenovitá frekvence	50 Hz	Průměr vodiče proudové cívky	1,784 mm
Vlastní spotřeba napěťové cívky	5 VA	Jmenovitý moment (průměrný)	0,38 mN·m
Počet závitů napěťové cívky	7400	Váha otáčivého systému	22 g
Délka vinutí napěťové cívky	500 m	Tloušťka kotouče otáčivého syst.	1,2 mm
Průměr vodiče napěťové cívky	0,14 mm	Rok výroby	1998

1) Nejprve je potřeba vypočítat magnetické toky obou cívek  $\Phi_U$  a  $\Phi_I$ :

a) Výpočet magnetického toku  $\Phi_U$  napěťové cívky:

$$\text{Proud tekoucí napěťovou cívkou: } I_U = \frac{P_U}{U} = \frac{5}{230} = 21,7 \text{ mA}$$

$$H_U = \frac{N_U \cdot I_U}{l_U} = \frac{7400 \cdot (\sqrt{2} \cdot 21,7 \cdot 10^{-3})}{500} = 0,455 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$B_U = \mu \cdot H_U = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H_U = (4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot 4000 \cdot 0,455 = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\Phi_U = B_U \cdot S_U = 2,28 \cdot (\pi \cdot 0,00007^2) = (2,28 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,54 \cdot 10^{-8} = \underline{3,52 \cdot 10^{-11} \text{ Wb}}$$

b) Výpočet magnetického toku  $\Phi_I$  proudové cívky:

$$H_I = \frac{N_I \cdot I_I}{l_I} = \frac{6 \cdot (\sqrt{2} \cdot 10)}{0,25} = 339,4 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$B_I = \mu \cdot H_I = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H_I = (4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot 4000 \cdot 339,4 = 1,71 \text{ T}$$

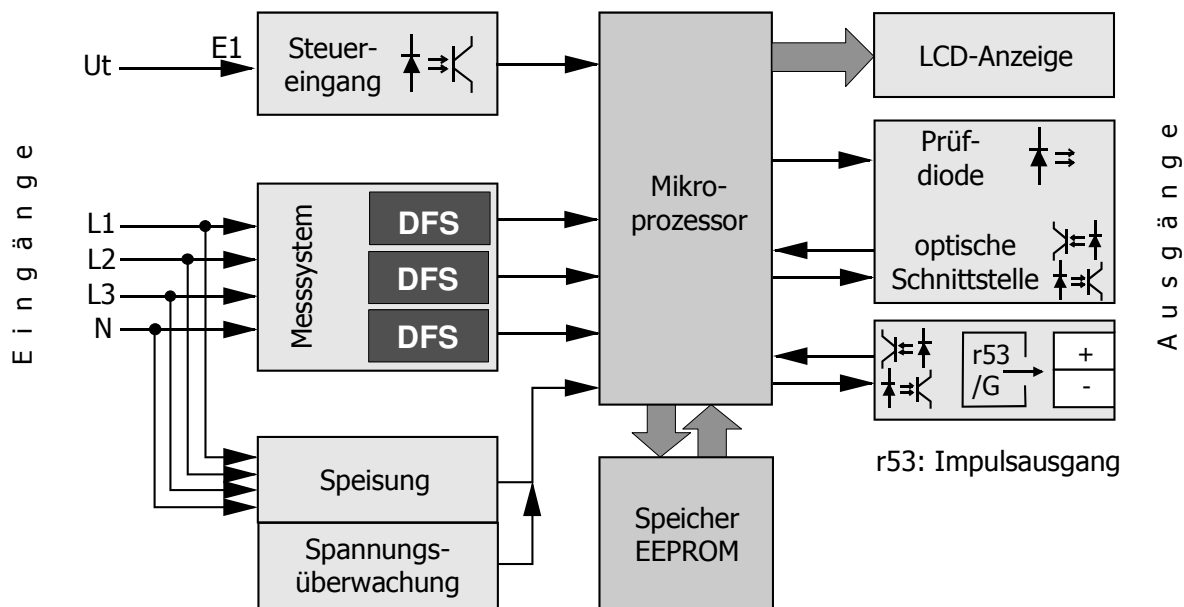
$$\Phi_I = B_I \cdot S_I = 1,71 \cdot (\pi \cdot 0,00089^2) = \underline{4,25 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}}$$

2) Výpočet mechanického momentu působícího na kotouč. Při výpočtu bude uvažována konstanta konstrukčního uspořádání a současně i fázový posun mezi oběma toky jako ideální, tzn. že  $k_t = 1$  resp.  $\sin \psi = 1$ , potom:

$$M_t = k_t \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \psi \cdot \omega \cdot G = \frac{1 \cdot (3,52 \cdot 10^{-11}) \cdot (4,25 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 \cdot (2\pi \cdot f)}{(1,2 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,02874 \cdot 10^{-6})} = \underline{\underline{1,36 \text{ mN} \cdot \text{m}}}$$

## 3.2 Statické elektroměry

Princip měření je založen na vzorkování vstupního napětí a proudu (čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím vyšší je dosažená přesnost), A/D převodem a digitálním násobením okamžitých hodnot. Vstupní proud je snímán přesným proudovým transformátorem odolným proti stejnosměrné složce (Hallova sonda nebo Rogowského cívka) a vstupní napětí odporovým děličem. Výsledkem násobení v integrovaném obvodu jsou impulsy, jejichž frekvence je úměrná procházejícímu výkonu. Impulsy jsou dále využity pro mechanické počítadlo nebo LCD zobrazovač - displej, kalibrační LED a řídí impulsní výstup S0. [8]



Obr. 3.7 Blokové schéma elektronického impulsního elektroměru

Překlad textů na Obr. 3.7: [11]

**Steuereingang** - řídicí vstup, **LCD-Anzeige** - displej z tekutých krystalů, **Mikroprozessor** - mikroprocesor, **Messsystem** - měřicí systém, **Speisung** - napájení, **Spannungsüberwachung** - kontrola napětí, **Speicher EEPROM** - paměť EEPROM, **Prüfdiode** - kontrolní dioda, **Optische Schnittstelle** - optické rozhraní, **Impulsausgang** - impulsní výstup, **Ausgänge** - výstupy, **Eingänge** - vstupy

Hlavními vstupy elektroměrů jsou:

- Svorky fázových vodičů ( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ) a středního vodiče  $N$ 
  - pro zpracování v měřicím systému
  - pro třífázové napájení elektroměru a kontrolu napětí
- Volitelné řídicí vstupy  $U_s$  (nejvýše 4, podle provedení) pro:
  - přepínání sazeb, resetování, vyvolání odběru a synchronizaci
- Tlačítka
  - pro řízení displeje (tlačítka displeje, optické rozhraní)
  - pro resetování nebo servisní funkce (resetovací tlačítko)

Elektroměr má následující výstupy:

- Displej z tekutých krystalů (LCD) s tlačítkem displeje pro místní odečet naměřených hodnot
- Optický zkušební výstup pro činnou energii (infračervený)
- Volitelné statické relé s volně parametrizovatelným přiřazeným signálem
- Optické rozhraní pro automatický místní odečet vhodným odečítacím přístrojem
- Komunikační rozhraní (buď S0/CS nebo M-Bus)

Měřicí systém:

Tři měřicí prvky založené na ověřené technologii DFS (Direct Field Sensor – čidlo přímého pole založené na Hallově jevu) vytvářejí z napětí a fázového proudu signál úměrný výkonu v každé z fází. Tento signál je převeden na digitální signál pro další zpracování v tarifikační jednotce.

Zpracování signálů:

Tarifikační jednotka sčítá digitální signály z jednotlivých fází podle výpočetního vzorce stanoveného nastavením parametrů a vytváří složky energie. Tyto složky rozděluje podle kladného nebo záporného znaménka. I pak je zpracovává podle měřicích konstant a předává je příslušnému registru sazby, který je určen řízením sazeb. Tarifikační jednotka vytváří z digitálního součtu optický zkušební signál, který odpovídá konstantě měření R, řídí také předávání dat na displej a sériové rozhraní a zajišťuje i bezpečný provoz se zálohou dat a jejich obnovou v případě výpadku napájení.

Paměť:

Energeticky nezávislá paměť (EEPROM) obsahuje data pro parametrizaci elektroměru a zabezpečuje zúčtovací data proti ztrátě v důsledku výpadků napětí.

Napájení:

Napájecí napětí pro elektroniku elektroměru se berou z třífázové sítě. Kontrola napětí zajišťuje řádný provoz a bezpečnou záchranu dat při přerušení napětí a správné spuštění při obnovení napětí.

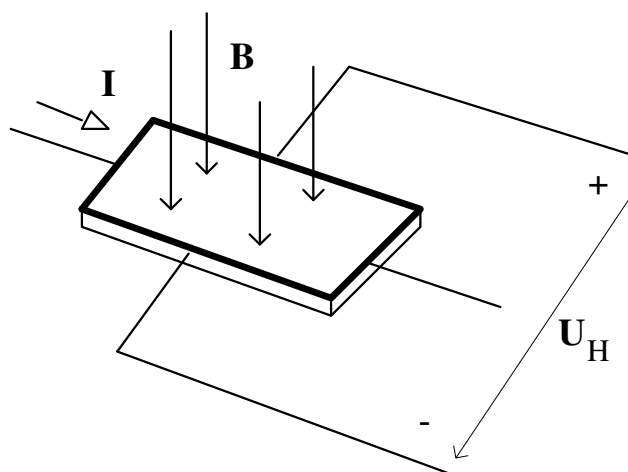
Rozhraní:

Komunikační rozhraní je pevnou součástí elektroměru a je tak zabezpečeno i kalibrační plombou. Jeho funkci je možno zvolit jako rozhraní S0/CS (určeno nastavením parametrů zda impulsní výstup S0 r53 nebo proudové rozhraní CS) nebo jako rozhraní M-Bus.

### 3.2.1 Měřicí systém

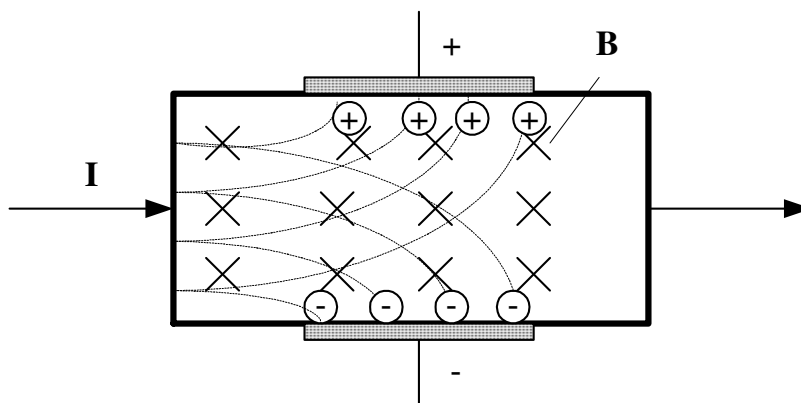
Čidlo DFS s Hallovou sondou zjišťuje proud ve fázi z magnetického pole proudové smyčky a fázové napětí z odporového děliče. Analogově-digitální převodníky převádějí oba signály na digitální hodnoty napětí a proudu, které jsou násobeny následujícím digitálním násobičem, čímž se získá signál úměrný výkonu. Ten je předáván do tarifikační jednotky, která sečte signály jednotlivých fází podle parametry stanoveného způsobu výpočtu a celkovou hodnotu předává do registru výkonu stanoveného parametry řízení sazeb. Digitální signály mají znaménko odpovídající směru toku energie.

HALLŮV senzor - je destička z polykrystalického křemíku se dvěma páry vývodů, proudového a napětového, viz *Obr. 3.8*.



*Obr. 3.8 Hallův senzor*

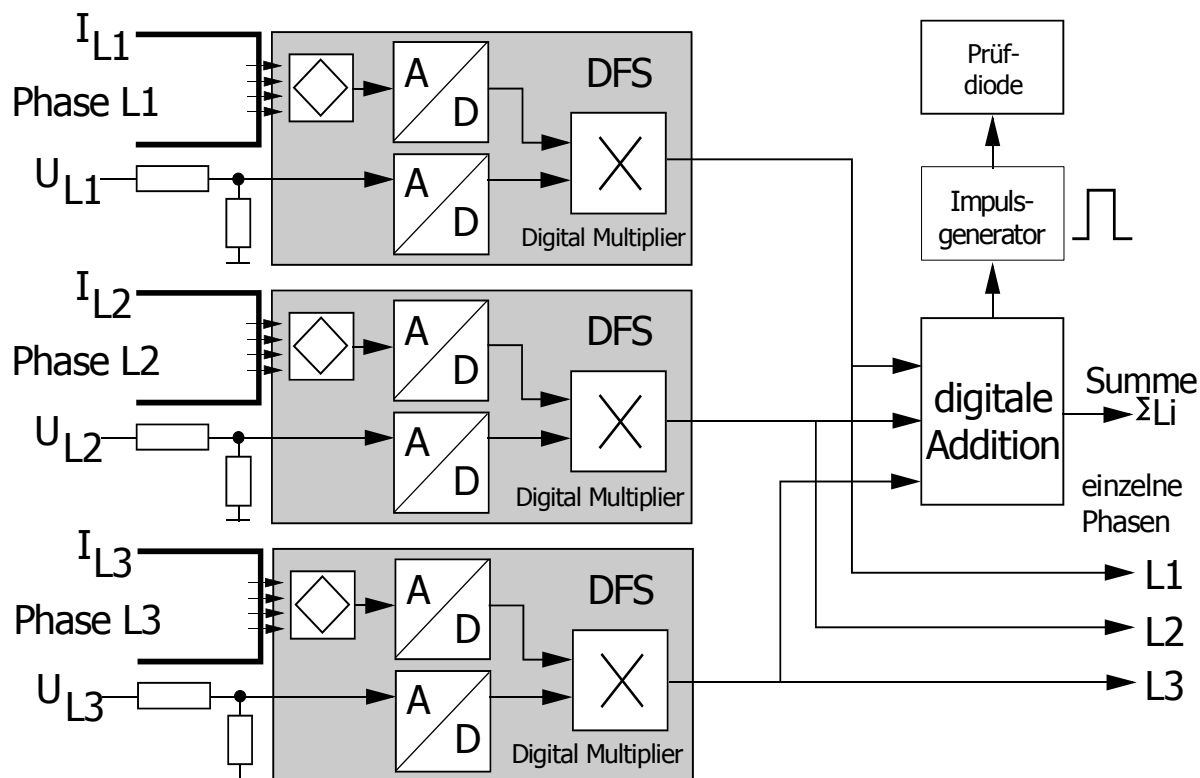
Senzor využívá Lorentzovu sílu  $\underline{F}_m = Q (\underline{v} \times \underline{B})$ , kterou působí magnetické pole  $\underline{B}$  na pohybující se elektrický náboj, resp. proud  $\underline{I}$ . Při konfiguraci podle *Obr. 3.9* se na jedné boční straně čidla hromadí kladný a na druhé boční straně záporný náboj.



*Obr. 3.9 Princip Hallova jevu*

Hallovo napětí –  $U_H = R_H \cdot B \cdot I$ , kde  $R_H$  je tzv. Hallova konstanta.

Aplikace: bezdotykové měření magnetické indukce  $B$ , bezdotykové měření proudu.



Obr. 3.10 Generování signálů v měřicím systému

Překlad textů na Obr. 3.10: [11]

**Phase** - fáze, **Digital Multiplier** - digitální multiplikátor, **Prüfdiode** - kontrolní dioda, **Impuls-generator** - generátor impulsů, **digitale Addition** - digitální součet, **Summe** - součet, **einzelne Phasen** - jednotlivé fáze

### 3.2.2 Používané typy

- Elektroměry Landis & Gyr

Elektroměry řady ZMD100AR měří spotřebu činné energie ve třífázové čtyřvodičové soustavě. Rozvodný závod je proto instaluje na napájecí vedení a pravidelně provádí jejich odečet jako podklad pro vyúčtování spotřeby. Stanovené údaje jsou zobrazeny na LCD displeji a je možno je odečíst i prostřednictvím optického rozhraní pro sběr dat a po doplnění o příslušné rozhraní také prostřednictvím rozhraní S0/CS nebo sběrnice M-Bus.

Elektroměry řady ZMD100AR mohou být použity pro přímé připojení k síti nízkého napětí. Využívají se především u maloodběratelů v domácnostech nebo podnikatelské sféře. Mají také úplnou strukturu sazeb, zahrnující sezónní, tak vícenásobné i jednoduché sazby. [11]



Obr. 3.11 Statický elektroměr Landis & Gyr

#### Technické parametry:

- Jmenovité napětí 3 x 230/400 V – 240/415 V
- Jmenovitá frekvence 50 nebo 60 Hz,  $\pm 2 \%$
- Napěťový rozsah 80 % - 115 %  $U_n$
- Proudový rozsah 5 – 40 (60, 80, 100, 120) A
- Třída přesnosti 1 u typu ZMD110AR, třída 2 u typu ZMD120AR
- Impulsní výstup S0 – 1000 imp./kWh (IEC 613 93)
- Provozní teplota: od - 40 °C do + 70 °C
- Optické sériové obousměrné rozhraní pro načítání zúčtovacích dat podle IEC 620 56-21
- Příkon pro fázi proudového obvodu při  $I = 10$  A: 0,03 VA
- LCD displej

- Elektroměry Actaris řady ACE6000

Třífázový statický elektroměr - všechny typy elektroměrů jsou vybaveny integrovaným měřicím ústrojím pro měření energie a výkonu až ve čtyřech kvadrantech (činná odběr/dodávka, jalová induktivní/kapacitní). Z možných variant připojení lze vybrat přímé připojení do 60 A, přímé připojení do 100 A a převodový typ elektroměru. Použitím pokrokového metrologického konceptu vykazují všechny typy velmi vysokou přesnost měření, jakož i dlouhodobou stabilitu parametrů. Všechny převodové typy elektroměrů lze nabídnout ve třídě přesnosti cl. 0,5 (činná energie).

Měřené hodnoty jsou zapisovány do kruhové paměti průběhu zátěže až ve čtyřech kanálech. Rozsah paměti průběhového měření vystačí při měřicí periodě  $t_r = 15$  min. a zápisu jednoho kanálu na dobu delší než jeden rok. Různé přídatné informace ve stavových hlavičkách umožňují přesnou analýzu dat.



Obr. 3.12 Statický elektroměr Actaris

#### Technické parametry:

- statický třífázový elektroměr pro měření činné a jalové energie a výkonu
- čtyřvodičové nebo třívodičové připojení
- přímé připojení: 5(60) A; 10(60) A; 5(100) A; 10(100) A
- převodové připojení: 5 A; 5/1; 5(10) A; 1(2) A
- napětí od 3x57,7/100 V do 3x230/400 V, a 3x100 V
- optické datové rozhraní a rozhraní CLO
- komunikace podle COSEM/DLMS IEC 62056-62 a IEC 62056-21
- třída přesnosti 0,5; 1; 2 (činná) a 2; 3 (jalová)
- pracovní teplota okolního prostředí od - 25 °C až + 55 °C
- vlastní spotřeba < 2 W (< 10 VA) na fázi



### 3.3 Pravidla připojování elektroměrů

#### Obecné zásady

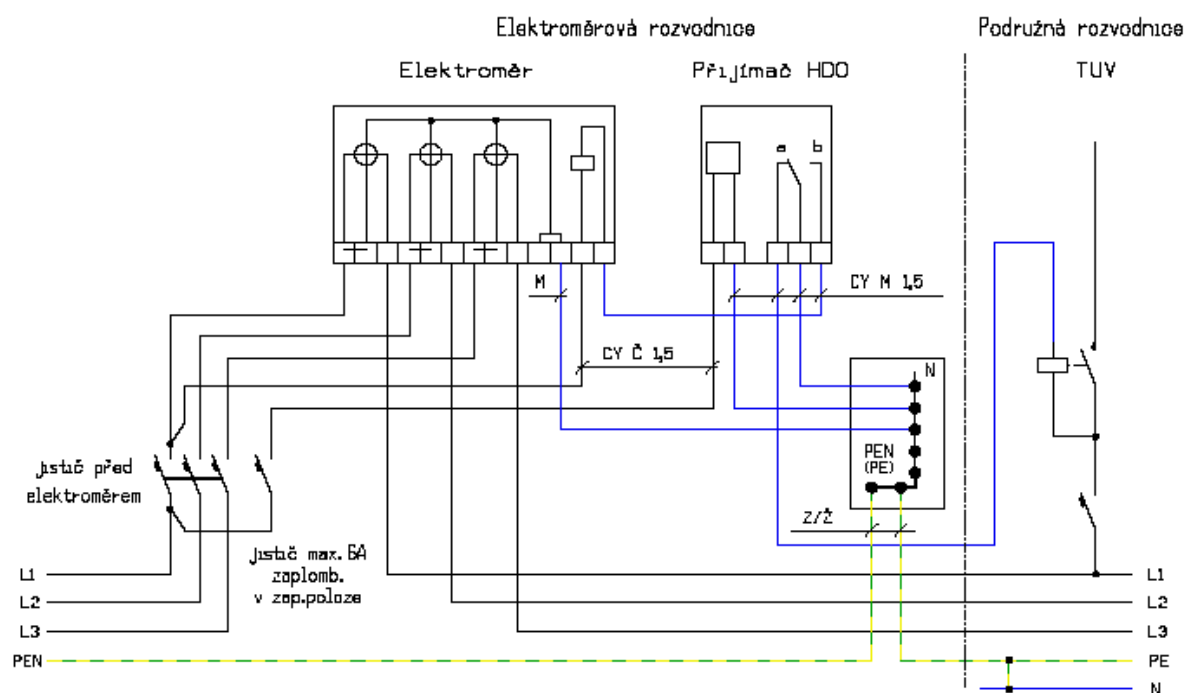
Měřicí zařízení se zásadně umísťuje do elektroměrových rozváděčů na elektroměrové desky nebo do společných rozváděčů s přístroji pro rozvod za elektroměrem. V tomto případě musí být rozváděč k tomuto účelu zkonstruován a typově schválen. Elektroměrová část a podružný rozváděč musí být konstrukčně i opticky odděleny. Provedení elektroměrových rozváděčů musí splňovat bezpečnostní předpisy dané ČSN, zvláště pak opatření k zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem a musí mít vhodnou protikorozi ochranu.

V bytových domech se umísťují elektroměrové rozváděče na chodbě nebo na schodišti. Odbočení od hlavního domovního vedení je realizováno pro každé odběrné místo samostatnou odbočkou od hlavního domovního vedení. [8]

U rodinných domů, které nemají charakter vícebytových domů, garáží, rekreačních objektů se umísťují elektroměrové rozváděče vně objektu na trvale veřejně přístupném místě. Pokud bude objekt situován na nepřístupném pozemku, umísťuje se rozváděč na hranici pozemku do pilíře v oplocení, případně na hranici pozemku v místě veřejně přístupném z vnější strany pozemku. Otevírání dvířek elektroměrového rozváděče pak musí být umožněno z vnější přístupné strany pozemku.

Před elektroměrovým rozváděčem (přede dveřmi rozváděče) musí být volný prostor o hloubce minimálně 800 mm s rovnou podlahou nebo definitivně upraveným terénem. Střed elektroměru má být ve výšce 1500 - 1700 mm od podlahy nebo definitivně upraveného terénu. V technicky zdůvodněných případech (např. je-li více elektroměrů nad sebou) mohou být středy elektroměrů ve výšce 700 až 1700 mm od podlahy.

Elektroměry se nesmějí montovat do společných skříní nebo výklenků s plynoměry! [7]



Obr. 3.13 Příklad zapojení dvousazbového elektroměru s jednopovelovým přijímačem HDO

## 4 Spínané zdroje

Účinnost spínaných zdrojů se běžně pohybuje v rozmezí od 80 do 90 %, v některých provedeníh i více. Obdobné lineární stabilizátory podobných parametrů by však dosahovaly účinnosti ne více než 50 %. Proto se v dnešní době rozvoje elektroniky přechází na zdroje impulsní. I přes jejich složitější obvodový návrh se tyto zdroje prosazují z důvodu vysoké účinnosti, pro svou malou hmotnost a rozměry.

Výhodou, vyplývající z vysokého pracovního kmitočtu, je snadná filtrovatelnost zbytků střídavé složky. Tato vlastnost se však uplatní až při podstatně vyšších kmitočtech, než je kmitočet sítě.

Nevýhodou spínaných zdrojů právě s hlediska jejich vysokého pracovního kmitočtu je vyšší cena součástek, které musí na takto vysokých kmitočtech pracovat (mezní kmitočty tranzistorů a diod, rozptylové kapacity transformátorů a stejnosměrné odpory elektrolytických kondenzátorů).

Rozdělení spínaných zdrojů:

1. Spínané s kmitočtem sítě
  - a) bez transformátoru
    - s jednočinným fázovým řízením
    - s dvojčinným fázovým řízením
  - b) s transformátorem
    - s regulací v primární straně
    - s regulací na sekundární straně
2. Spínané s kmitočtem vyšším, než síťovým
  - a) s transformátorem
    - jednočinné měniče
      - propustné měniče
      - blokující měniče
    - dvojčinné měniče
      - push - pull
      - půlmůstek s kondenzátory
      - plný můstek
  - b) bez transformátoru
    - se spínanými kapacitory
    - propustné měniče
    - blokující měniče
  - c) rezonanční měniče

### 4.1 Spínané zdroje s kmitočtem vyšším, než síťovým

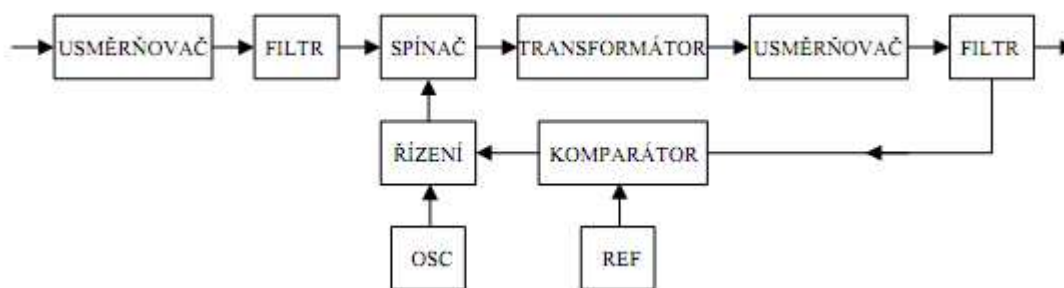
Blokové schéma spínaného zdroje se skládá z několika základních částí. Podmínkou činnosti spínaného zdroje je stejnosměrné vstupní napětí. Pokud je spínaný zdroj napájen ze sítě, musí mít na vstupu usměrňovač síťového napětí a filtrační kondenzátor. Usměrněné síťové napětí musí být co

nejvíce zbaveno střídavé složky, která vzhledem k nízkému kmitočtu (50 Hz) snadno prochází celým zdrojem až na jeho výstup.

Pro transformaci je nutné převést stejnosměrné vstupní napětí na střídavé. K tomu se ve spínaném zdroji používají vysokofrekvenční spínací tranzistory, které vytvoří střídavý obdélníkový průběh o kmitočtu 20 kHz až 1 MHz. Tranzistor pracuje jako řízený spínač. Proud jím prochází pouze po určitý interval pracovního cyklu. Jelikož se tranzistor vždy maximálně otevře a pak úplně zavře, tak je výkonová ztráta podstatně menší, než u lineárního regulátoru.

K vlastní transformaci velikosti napětí se používá buď cívka, nebo transformátor. Výstupní střídavé napětí se usměrní a pomocí filtru se odstraní jeho střídavé složky. Na výstupní usměrňovací diody jsou kladeny značné požadavky, protože musí usměrňovat na vysokém kmitočtu (musí mít malou kapacitu přechodu a malou spínací a zejména vypínací dobu).

Uspořádání výstupního filtru je podle typu měniče v regulátoru. Filtr je pro větší výstupní výkon vždy LC. Princip činnosti spočívá v tom, že veškerá energie, odebraná měničem v aktivním intervalu pracovního cyklu je akumulována. V pasivním intervalu, kdy je tranzistor rozpojen, je zátěž napájena energií, která je akumulována filtrem. Na výstupní filtr již zdaleka není kladen takový požadavek, protože pracuje na vysokém kmitočtu a jeho filtrační účinky jsou na tomto kmitočtu vynikající.

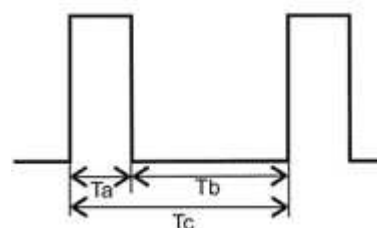


Obr. 4.1 Obecné blokové schéma spínaného zdroje

Podstata regulace spočívá v řízení vzájemných časových relací aktivního  $T_a$  (spínač sepnut) a pasivního  $T_b$  (spínač vypnut) intervalu pracovního cyklu. Celý pracovní cyklus se pak označuje  $T_c$ .

Pracovní cyklus  $T_c$  může být ovládán těmito způsoby:

- konstantní interval  $T_a$  a proměnná perioda  $T_c$
- konstantní interval  $T_b$  a proměnná perioda  $T_c$
- proměnný poměr intervalů  $T_a/T_b$ , konstantní  $T_c$



Obr. 4.2 Rozdělení pracovního cyklu

Základním typem spínaných zdrojů, které se používají u PC, jsou spínané zdroje ve dvojčinném zapojení (v anglosaské literatuře označované jako PUSH – PULL). Zde je v primárním vinutí transformátoru spínán proud obou polarit dvěma spínacími součástkami, které pracují v inverzním zapojení. Obvykle i výstupní usměrňovače jsou dvoucestné, takže se jedná o dvojčinnou verzi propustného zapojení. Účinnost takovýchto zapojení je velmi vysoká a pohybuje se na 80 %. Další výhodou je možnost širokého rozsahu regulace. Využívá se ve spínaných zdrojích PC do výkonu 250 W.

## 4.2 Účinník versus opravdový účinník

Účinník neboli  $\cos \varphi$  je bezrozměrná veličina, která vyjadřuje poměr činného a zdánlivého výkonu v obvodech střídavého napětí a proudu s harmonickým průběhem. Znamená to tedy, že  $\cos \varphi$  vyjadřuje tento poměr jen při výskytu první harmonické vyššího řádu napětí a proudu. V sítích s nelineárními spotřebiči, se však mimo proudu základní harmonické vyššího řádu  $I_1$  (50 Hz) vyskytují harmonické proudy, jejichž frekvence je násobkem základního kmitočtu, tedy  $I_2, I_3, I_4, \dots$  atd. (druhá, třetí, čtvrtá, ... harmonická vyššího řádu). Je proto nutné kromě činného a jalového výkonu navíc uvažovat i s výkonem deformačním, a výsledný účinník se pro odlišení nazývá opravdovým účinníkem  $\lambda$  nebo PF, z anglického „power factor“. V případě sinusových průběhů bez přítomnosti harmonických vyššího řádu je roven účinníku  $\cos \varphi$ . Výpočet  $\cos \varphi$  a opravdového účinníku  $\lambda$  (PF):

Obvody s harmonickými napětími a proudy:

$$S = U_1 \cdot I_1 = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4.1)$$

Obvody s neharmonickými napětími a proudy:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_h^2} = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} U_h^2} \quad (4.2)$$

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_h^2} = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \quad (4.3)$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \quad (4.4)$$

h .... harmonická vyššího řádu dané veličiny

Činný výkon:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} P_h = \sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h \quad (4.5)$$

Jalový výkon

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h = \sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \sin \varphi_h \quad (4.6)$$

Deformační výkon:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (4.7)$$

Skutečný účinník  $\lambda$  (power factor PF):

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (4.8)$$

## 5 Pomůcky ke zkoušení

### 5.1 Požadavky na zkušební zařízení

- Měřicí stanice elektroměrů

Měřicí stanice pro zkoušení elektroměrů musí být vybavena referenčním elektroměrem s platným kalibračním listem. Měřicí stanice jako celek musí být prověřena tzv. funkční zkouškou stanice jako celku. Referenční elektroměr může být zapojen do měřicího okruhu přímo anebo přes měřicí transformátory. Elektroměr a transformátory musí mít platný kalibrační list vydaný ČMI. Kalibrační listy použitých etalonů ani osvědčení o funkční zkoušce nejsou v této práci publikovány, protože nesmějí být bez souhlasu laboratoře, která je vydala, dále rozmnožovány. Existenci kalibračních listů nezpochybnitelně zaručuje udělená autorizace metrologickému středisku, ve kterém měření probíhalo a jehož kopie je Přílohou č. V. [3] [8]

- Vícefunkční etalonový elektroměr

Nastavené hodnoty proudů, napětí, výkonů, fází a kmitočtu nemusí být měřeny samostatnými přístroji. Mohou být měřeny vícefunkčním etalonovým elektroměrem a zobrazeny na displeji nebo obrazovce počítače. V tomto případě však musí být etalonový elektroměr kalibrován i na tyto veličiny, což musí být doloženo platným kalibračním listem.

- Ostatní přístrojové vybavení

Ampérmetry používané ke kontrole nastavených hodnot proudu musí mít v celém měřicím rozsahu chyby menší než hodnoty uvedené v *Tab. 5.1*. Pokud se používají pro nastavení proudů při zkoušce náběhu elektroměrů, pak musí být kalibrovány v okolí těchto proudů. Ampérmetry musí mít platný kalibrační list.

Voltmetry používané na kontrolu nastavených hodnot napětí, musí mít v celém měřicím rozsahu chyby menší než hodnoty uvedené v *Tab. 5.1*. Voltmetry musí mít platný kalibrační list.

Wattmetry a varmetry používané na kontrolu nastavených hodnot výkonu anebo nepřímo hodnoty účinníku, popřípadě hodnoty náběhového proudu, musí mít v celém měřicím rozsahu chyby menší než hodnoty uvedené v *Tab. 5.1*. Wattmetry a varmetry musí mít platný kalibrační list.

Fázoměry používané na kontrolu nastavených hodnot fáze, resp. účinníku, musí mít v celém měřicím rozsahu chyby menší než hodnoty uvedené v *Tab. 5.1* (pokud fázoměr ukazuje pouze hodnotu účinníku, musí se meze chyb ve stupních přepočítat na hodnoty účinníku). Fázoměry musí mít platný kalibrační list.

Měřič kmitočtu používaný na kontrolu kmitočtu, musí mít chybu měření 50 Hz menší než hodnoty uvedené v *Tab. 5.1*. Měřič kmitočtu musí mít platný kalibrační list.

Tab. 5.1 Meze chyb zkušebních a pomocných zařízení používaných při zkoušení elektroměrů. [3]

Zařízení	Třída přesnosti ověřovaných elektroměrů				
	0,2S	0,5S a 0,5	1, 2 a 3	A a B	C
Ampérmetry	$\pm 0,5 \%$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 0,5 \%$
Voltmetry	$\pm 0,5 \%$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 0,5 \%$
Wattmetry	$\pm 0,5 \%$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 0,5 \%$
Fázoměry	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$
Měřič kmitočtu	$\pm 0,1 \text{ Hz}$	$\pm 0,1 \text{ Hz}$	$\pm 0,1 \text{ Hz}$	$\pm 0,1 \text{ Hz}$	$\pm 0,1 \text{ Hz}$
Teploměr	$\pm 0,5^\circ \text{C}$	$\pm 0,5^\circ \text{C}$	$\pm 0,5^\circ \text{C}$	$\pm 0,5^\circ \text{C}$	$\pm 0,5^\circ \text{C}$
Vlhkoměr	$\pm 5 \%$ RH	$\pm 5 \%$ RH	nepožaduje se	nepožaduje se	$\pm 5 \%$ RH

## 5.2 Požadavky na pomocná zařízení

- Teploměr

Teploměr používaný na kontrolu teploty v laboratoři, musí mít v rozsahu  $18^\circ \text{C}$  až  $25^\circ \text{C}$  chybu měření menší než hodnoty v Tab. 5.1. Teploměr musí mít platný kalibrační list. [3]

- Vysokonapěťový zdroj

Vysokonapěťový zdroj používaný na zkoušku izolace, musí dodávat střídavé sinusové napětí  $2\,000 \text{ V}$  o kmitočtu  $50 \text{ Hz}$  a výkonu do  $500 \text{ VA}$ . Zdroj musí mít platný kalibrační list.

- Indikátor sledu fází

Indikátor sledu fází používaný na kontrolu sledu fází na řadnici měřicí stanice, musí jednoznačně identifikovat sled fází.

## 6 Podmínky při zkoušení

### 6.1 Vymezení referenčních podmínek

Zkoušky se provádějí v referenčních podmínkách na elektroměrech s nasazeným víkem, zapojených na zkušebním zařízení podle schématu zapojení daném výrobcem. Pro referenční podmínky platí hodnoty uvedené v *Tab. 6.1*. Mimo těchto specifikovaných podmínek nesmí být v laboratoři rušivé mechanické vibrace.

*Tab. 6.1 Referenční podmínky [3]*

Pro třídu přesnosti ověřovaných elektroměrů	0,2S a 0,5S	0,5	1	2 a 3 (3-pouze jalové)	A	B	C
Teplota v laboratoři 23 °C	± 2 °C	± 2 °C	± 2 °C	± 2 °C	± 2 °C	± 2 °C	± 2 °C
Vlhkost v laboratoři 60 %	± 15 %	nespeci- fikována	nespeci- fikována	nespeci- fikována	nespeci- fikována	nespeci- fikována	nespeci- fikována
Svislá pracovní poloha (nepožaduje se u statických elektroměrů)	nespeci- fikována	± 1 °	± 1 °	± 2 °	± 0,5 °	± 0,5 °	---
Referenční napětí	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %
Kmitočet 50 Hz	±0,15 Hz	±0,15 Hz	±0,15 Hz	±0,25 Hz	±0,25 Hz	±0,15 Hz	±0,15 Hz
Nastavený proud	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %
Symetrie napětí <sup>1)</sup> u třífázových elektroměrů	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %
Symetrie proudů <sup>2)</sup> u třífázových elektroměrů	± 1,0 %	± 1,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %
Symetrie účinníku <sup>3)</sup> u třífázových elektroměrů	± 2,0 °	± 2,0 °	± 2,0 °	± 2,0 °	± 2,0 °	± 2,0 °	± 2,0 °
Sinusový tvar vlny napětí <sup>4)</sup> a proudu	± 2,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %	± 3,0 %	± 3,0 %	± 2,0 %	± 2,0 %
Magnetická indukce vnějšího původu	(0,00 ± 0,05) mT						
<sup>1)</sup> Tj. odchylky velikosti fázových nebo sdružených napětí od střední hodnoty ze všech 3 fází.							
<sup>2)</sup> Tj. odchylky velikosti proudů v každé fázi od střední hodnoty ze všech 3 fází.							
<sup>3)</sup> Tj. rozdíly fázových úhlů mezi proudem a odpovídajícím fázovým napětí mezi fázemi navzájem (pro každý účinník, při kterém se elektroměry zkouší).							
<sup>4)</sup> Tj. odchylky od sinusového tvaru vlny vyjádřený činitelem nelineárního zkreslení.							

## 7 Chyby měření

Přesnost měření dané veličiny lze hodnotit odchylkou hodnoty *naměřené* od *pravé* (skutečné) hodnoty této veličiny. Tuto odchylku je poté možno nazvat chybou měření.

Přesnost měřicího přístroje je nutno chápat jako kvalitativní pojem, který vyjadřuje schopnost měřicího přístroje poskytovat údaje blízké pravé hodnotě naměřené veličiny. Pro běžné analogové elektromechanické přístroje se podle normy IEC EN 60051-1 chyba přístroje vyjadřuje *základní chybou*. Údaj přístroje je závislý nejen na hodnotě měřené veličiny, ale i na ovlivňujících veličinách. Nedodržení referenčních podmínek způsobuje *přídavnou chybu*, tzv. změnu údaje.

Chyby se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách:

Absolutní chyba ( $\Delta$ ) se uvádí v jednotkách měřené veličiny  $X_M$  a je definována:

$$\Delta_x = X_M - X_S \quad (7.1)$$

- V praxi se však častěji chyby uvádí pomocí chyby relativní, která je definovaná jako podíl chyby absolutní a očekávaného výsledku měření:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{X_M} = \frac{X_M - X_S}{X_M} \quad [-], \quad (7.2)$$

Relativní chyba je buď bezrozměrné číslo anebo se vyjadřuje v procentech.

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{X_M} \cdot 100 \quad [\%], \quad (7.3)$$

### 7.1 Rozdělení podle výskytu

- Systematické chyby – jsou to chyby, které při opakovaných měření zůstávají neměnné co do velikosti i znaménka, pokud i hodnota měřené veličiny je stále stejná a měření probíhá za dosažitelně stejných podmínek. Systematické chyby jsou teoreticky odstranitelné buď zavedením oprav při zpracovávání výsledků měření, nebo úpravou (odstraněním příčiny vzniku chyby). Prakticky jsou systematické chyby odstranitelné jen tehdy, pokud jsou známy příčiny jejich vzniku a zákonitosti jejich závislosti na fyzikálních veličinách anebo pokud lze spolehlivě zjistit jejich velikost kontrolním měřidlem.
- Náhodné chyby – jsou charakterizovány náhodným výskytem. Příčiny jejich vzniku mohou být v některých případech známy, jsou však takové, že pro jednotlivé měření nelze předvídat míru jejich uplatnění, vznikají často společným působením více



rušivých veličin. Přítomnost náhodných chyb se zjistí, opakuje-li se vícekrát měření za stále stejných podmínek a potom náhodné chyby budou mít pro jednotlivé měření různá znaménka a různé velikosti.

Rozložení hodnot náhodných chyb je charakterizováno rozdělením pravděpodobnosti. Obvykle se náhodných chyb předpokládá normální, tj. Gaussovo rozdělení hustoty pravděpodobnosti, které většinou dobře odpovídá skutečnosti.

Výsledek měření, stanovený ze souboru opakovaných měření realizovaných za stejných podmínek, je reprezentován aritmetickým průměrem získaným při  $n$  opakováních z hodnot  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , vztah (7.4) tj.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.4)$$

Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru  $s$ , méně často směrodatná odchylka aritmetického průměru  $s_{\bar{x}}$ , získaná ze vztahů (7.5) a (7.6):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{xi}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7.5)$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (7.6)$$

Obě směrodatné odchylky patřičným způsobem blíže charakterizují chování náhodných chyb.

- c) Hrubé chyby – jsou chyby vzniklé následkem nesprávného měření. Hrubé chyby jsou způsobeny omylem pozorovatele (např. nesprávným odečítáním hodnot), nesprávným postupem (použitím nevhodného měřicího přístroje, překročením mezní hodnoty některé vstupní veličiny, hrubým překročením referenčních podmínek apod.), a použitím poškozeného měřicího přístroje nebo jeho členu.
- d) Aditivní chyby - jsou chyby, které při vyjadřování jako chyby absolutní jsou nezávislé na hodnotě měřené veličiny. Aditivní chyby se někdy označují jako chyby nuly. Mohou být systematické i náhodné. Aditivní chyba systematická se dá korigovat, dá se opravit její vliv na výsledek měření. Jestliže má aditivní chyba charakter náhodný, potom její vliv korigovat nelze a výskyt náhodných chyb se projeví jako pásmo šířky  $\pm \Delta_K$  kolem převodní charakteristiky.
- e) Multiplikativní chyby (chyby konstanty) – absolutní jsou přímo závislé na velikosti měřené veličiny. Jsou způsobovány změnou přenosu přístroje. Multiplikativní chyby mohou mít charakter systematický i náhodný (pásmo nejistoty).

## 7.2 Rozdělení podle původu

Rozdělení chyb podle původu je druhotné vzhledem k jejich rozdělení na chyby hrubé, systematické a náhodné. Ukazuje především na příčiny chyb a tím naznačuje cesty k jejich odstranění nebo zmenšení. Na základě rozdělení chyb podle původu lze identifikovat především chyby systematické, velmi často pak i chyby hrubé.

1. chyby osobní
  - a) Nedokonalost lidských smyslů
  - b) Dočasné oslabení lidských smyslů
  - c) Nezpůsobilost operátora
2. chyby měřidel
  - a) Výrobní tolerance
  - b) Opatření a vůle v mechanismu měřidla
  - c) Poškození měřidla
  - d) Nedokonalost (nezpůsobilost) měřidla
3. chyby metody měření
  - a) Nevhodná metoda
  - b) Nesprávná aplikace metody
4. chyby způsobené okolními vlivy
  - a) teplota, tlak, vlhkost, agresivní prostředí
  - b) Magnetické nebo elektrické pole, magnetické vazby
  - c) Otřesy, vibrace

Proces poznání, zpracování a odstraňování chyb nemůže být jednorázovou záležitostí prováděnou obvykle před zahájením měření. Chyby, stejně jako mnoho dalších faktorů ovlivňujících proces měření, mají svůj vývoj v čase. Pokud jim proto není věnována soustavná pozornost, dojde často ke zvětšování rozptylu chyb náhodných, ke změnám hodnot chyb systematických nebo k častějšímu výskytu chyb hrubých.

## 7.3 Rušivé vlivy

Pro realizaci zajištění požadavku jednotnosti a správnosti měřidel a měření je zapotřebí vytvořit takové podmínky, které by v maximální míře omezovaly vlivy, které mohou přesné měření, ale především kalibraci a ověřování měřidel nežádoucím způsobem ovlivnit.

V běžné metrologické praxi se jedná zejména o vlivy teplotní, mechanické a elektromechanické.

### 7.3.1 Mechanické vlivy

- tření v ložiskách,
- poloha přístroje,
- otřesy.

Opatření: hrotové uložení otočných částí, dodržování polohy přístroje, otřesuvzdorné přístroje.

Za mechanické vlivy pokládáme i takové, které mohou způsobovat především nežádoucí vibrace. To mohou způsobovat jak vlivy přírodní (např. seismické), ale i vlivy generované např. těžkou dopravou v blízkosti místa měření. Laboratoře je proto nutné budovat v místě bez tíhových anomálií, zejména proměnlivého rázu.

### 7.3.2 Teplotní vlivy

Teplota je zpravidla nejvýraznější ovlivňující veličinou při jakémkoliv měření vůbec, tedy nejenom v laboratorní praxi. S rostoucí teplotou se mění geometrické rozměry součástí, odpor měřicí cívky, odpor předřadníků a bočníků, magnetická indukce trvalých magnetů. Pro přesná měření nutno teplotu udržovat na stálé a známé hodnotě. Vnější vlivem je teplotní záření, především záření sluneční. Vnitřních vlivů (myšleno v místnosti při měření) je potom celá řada, např. průvodní ohřev zdroji světla, pracovník provádějící měření a objekty nezbytné k měření (teplotní lázně, pícky).

V laboratořích lze vliv teploty zpravidla omezit vhodnými způsoby, např. umístěním kalibrační laboratoře a klimatizací. Hodnoty, ve kterých je nezbytné teplotu v laboratoři udržovat, jsou uvedené v normách a nejsou jednotné pro všechny obory měření. S teplotou je úzce spojena vlhkost vzduchu, kterou lze v klimatizovaném prostředí poměrně snadno zajistit.

Pokud udržujeme teplotu i vlhkost, hovoříme o klimatizaci. (makro i mikro klimatizace). Zde jsou zabudovány filtry, které by měly zachycovat částice větší než 5  $\mu\text{m}$ . Je tedy možno dodržet bezprašnost prostředí, teplotu i stálou vlhkost.

Pro udržení konstantní teploty jsou termostaty, podobně jsou manostaty a humidostaty pro udržení konstantního tlaku vzduchu a jeho vlhkosti.

Opatření: použití materiálů s malou teplotní závislostí odporu, vyjmutí zdroje tepla z měřicího přístroje, teplotní kompenzace – termistor.

### 7.3.3 Elektromagnetické vlivy

Přesná elektrická měření i kalibrace měřidel vyžadují prostředí prosté nežádoucích elektromagnetických vlivů generovaných např. dálkovými vedeními vysokých napětí, rozvodnami, vysílači, elektrifikovanými drahami, ale i mobilními telefony i dalšími rušivými zdroji. Lokality prosté takových vlivů u nás dnes už neexistují a tak je třeba podmínky pro přesná měření a kalibrace vytvořit odstíněním těchto vlivů.

Opatření:

- a) elektrické stínění – vodivý obal přístroje se uzemní a indukovaný náboj se odvádí do země,
- b) feromagnetické stínění – přístroj se vloží do feromagnetického obalu, který odvede magnetický tok mimo přístroj,
- c) elektromagnetické stínění – přístroj se vloží do vodivého obalu, ve kterém vnější magnetické pole indukuje vířivé proudy. Jejich magnetické pole ruší pole vnější.

### 7.3.4 Přechodový odpor

Přechodový odpor vzniká v místě rozebíratelného spojení dvou vodičů. Jeho velikost bývá běžně kolem  $10^{-4}$  až  $10^{-2} \Omega$ , může však dosáhnout i jednotek ohmů.

Opatření: zapojení měřicích přístrojů nebo rezistorů pomoci dvou dvojic svorek.

### 7.3.5 Termoelektrické napětí

Termoelektrické napětí vzniká v místě spojení dvou různých kovů při zahřátí místa spojení. Velikost napětí je jednotky a stovky mV.

Opatření: měření při obou polaritách proudu, použití jednoho (stejného) kovu.

### 7.3.6 Vnější elektrické pole

Elektrické pole vzniká mezi dvěma vodivými místy o různém potenciálu.

Opatření: elektrické stínění – vodivý obal přístroje se uzemní a indukovaný náboj se odvádí do země.

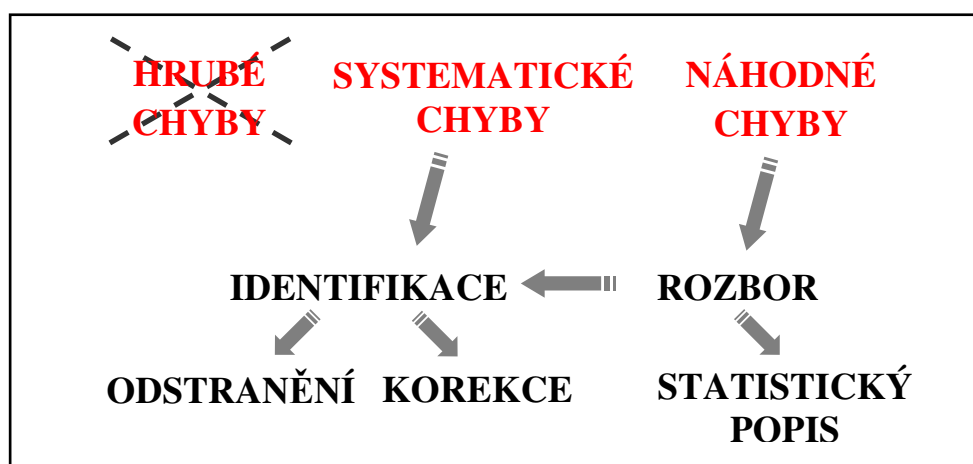
### 7.3.7 Jiné požadavky

Pro některá specializovaná měření musí být vytvářeny ještě další podmínky, např. požadavky na čistotu vzduchu (limitované znečištění částicemi  $0,5 \mu\text{m}$  až  $5 \mu\text{m}$ ), případně i rychlost proudění vzduchu. Pro zajištění podmínek pro přesnou práci metrologa jsou potom kladeny podmínky na hluchnost prostředí a osvětlení pracoviště jako celku i pracovního místa.

## 7.4 Základní metrologický přístup k chybám

Základní rozdělení chyb naznačuje také postup při jejich zpracování. Činnost znalého metrologa by se tedy měla skládat z následujících kroků:

1. Odhalení a identifikace hrubých chyb a zásah do systému měření, který by vedl k jejich vyloučení.
2. Identifikace systematických chyb a jejich odstranění nebo korigování.
3. Provedení rozboru náhodných chyb. Pokud se podaří identifikovat příčinu některé z této skupiny chyb, převést ji do skupiny chyb systematických a provést příslušnou korekci. Zbylé náhodné chyby pak podrobit statistickému zpracování.



Obr. 7.1 Základní metrologický přístup k chybám

## 8 Popis a průběh zkoušek

### 8.1 Povinné zkoušky a jejich pořadí

Při ověřování elektroměrů musí být vykonány tyto činnosti a zkoušky:

- vnější prohlídka,
- zkouška pevnosti elektrické izolace,
- zkouška chodu naprázdno,
- zkouška náběhu,
- zkouška přesnosti,
- zkouška číselníku (displeje).

Výjimkou je zkouška pevnosti elektrické izolace, která může být vykonána jako první.

## 8.2 Příprava elektroměrů

Před vlastními zkouškami musí být elektroměry teplotně stabilizovány v místnosti s teplotou  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$  po dobu nejméně 6 hodin.

Před provedením jednotlivých zkoušek musí být pro dosažení pracovní teploty připojeny napěťové obvody elektroměru na referenční napětí nejméně:

- 30 min. pro elektromechanické elektroměry;
- 5 min. pro statické elektroměry.

Jsou-li napěťové obvody elektroměrů během přestávek při provádění zkoušek přesnosti odpojeny více než 15 minut od elektrického napětí, pak se ohřev elektroměrů musí před pokračováním zkoušek zopakovat.

## 8.3 Příprava zkušebního zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat zejména požadavky *kap. 5.1.1* a *5.1.2*. Před začátkem zkoušek musí být zkušební zařízení zapnuto nejméně po dobu uvedenou v návodu výrobce, nejméně však 30 minut a musí mít splněné referenční podmínky podle *kap. 6*.

## 8.4 Zapojení elektroměrů

Elektroměry musí být zapojeny podle schématu zapojení. Třífázové elektroměry musí být zapojeny tak, aby pořadí fází odpovídalo přímému sledu podle schématu zapojení.

## 8.5 Vnější prohlídka

Při vnější prohlídce elektroměru se posuzuje:

- úplnost předepsané technické dokumentace,
- shoda metrologických a technických charakteristik specifikovaných výrobcem v dokumentaci,
- úplnost a stav elektroměru podle předepsané technické dokumentace,
- shodnost verze software elektroměru s verzí specifikovanou výrobcem.

Kladným výsledkem vnější prohlídky je závěr: čistý nepoškozený elektroměr odpovídající schválenému typu.

## 8.6 Zkouška pevnosti elektrické izolace

Zkoušky se provádí na kompletním elektroměru, s vrchním krytem svorkovnice a se šrouby svorek zašroubovanými do jádra vodice o maximálním použitelném průměru. Během zkoušek napěťovým impulsem i zkoušek střídavým napětím musí být obvody, které se nezkouší, uzemněny. Během zkoušky nesmí dojít k žádnému průrazu ani přeskoku. Po této zkoušce nesmí při zkoušce přesnosti dojít ke změně chyby.

Provádí se sinusovým střídavým napětím s kmitočtem 50 Hz a efektivní hodnotou 2 000 V po dobu 1 minuty. Neprovádí se u elektroměrů s izolačním pouzdem třídy ochrany II (na štítku je symbol dvojitého čtverečku).

Zkušební napětí se přikládá:

- u elektroměrů pro přímé připojení: mezi všechny proudové, napěťové a pomocné svorky (s napětím větším než 40 V) spojené dohromady a pouzdem. Je-li pouzdro z izolantu, tj. jde-li o elektroměr s pouzdem třídy ochrany II, pak se elektroměr položí na vodivou podložku, na kterou se připojí druhý pól vysokonapěťového zdroje,
- u elektroměrů pro připojení přes měřicí transformátor (po provedení předcházejícího): mezi všechny svorky obvodů, které při provozu elektroměru nejsou galvanicky spojeny.

Během zkoušky se sleduje, zda nevzniká elektrický přeskok, prskající výboj nebo průraz a indikátor průrazu nesignalizuje průraz.

Elektroměr je vyhovující, pokud během zkoušky nevznikl žádný elektrický přeskok, žádný prskající výboj nebo průraz. [3]

## 8.7 Zkouška chodu naprázdno

U elektroměru s mechanickým číselníkem smí být v záběru pouze bubínek nejnižšího řádu.

- a) Elektromechanické elektroměry se před zkouškou nastaví tak, aby značka na rotoru byla viditelná v okénku. Zkouška se provádí s nasazeným víkem.

Při zkoušce se na napěťové obvody postupně připojí napětí s hodnotou:

- 80 % referenčního napětí,
- 110 % referenčního napětí,

přičemž proudové obvody elektroměru nejsou napájeny. Doba zkoušky je nejméně 15 min pro každé napětí. Kontroluje se otáčení kotouče.

- b) U statických elektroměrů se na napětíové obvody připojí napětí s hodnotou 115 % referenčního napětí, přičemž proudové obvody elektroměru nejsou napájeny. Minimální doba zkoušky se vypočítá podle vztahu:

$$t = \frac{480 \cdot 10^6}{k \cdot P_{\max}} \quad (8.1)$$

kde:  $k$  je konstanta elektroměru [imp/kWh, imp/kvarh],  
 $P_{\max}$  maximální činný resp. jalový výkon měřený elektroměrem [W, var].

Doba zkoušky musí být delší než 15 minut, i když vychází podle uvedeného vztahu kratší. Sleduje se vydávání impulsů na zkušebním výstupu. [3]

Elektroměr je vyhovující, pokud:

- u elektromechanických elektroměrů značka na kotouči neopustila okénko,
- u statických elektroměrů zkušební svítící dioda nebo výstup impulsů pro dálkové měření nevyslal více jak jeden impuls (tj. buď žádný anebo pouze jeden).

## 8.8 Zkouška náběhu

Při zkoušce náběhu musí elektroměr začít měřit energii po připojení referenčního napětí  $U_{ref}$ , při  $\cos \varphi$  (resp.  $\sin \varphi$ ) = 1 a přivedení proudu podle Tab. 8.1 do proudových obvodů. Sleduje se otáčení rotoru resp. vydávání impulsu na zkušebním výstupu.

Různá provedení elektroměru se zkouší za doplňujících podmínek:

- elektromechanické elektroměry s mechanickým číselníkem: v záběru nesmí být více jak dva bubínky;
- elektromechanické elektroměry s mechanickým měřičem maxima: ukazatel maxima nesmí být v záběru;
- elektroměry s několika referenčními napětími: u elektroměru s více referenčními napětími nebo s celým rozsahem referenčních napětí se zkouška náběhu provádí při maximálním a minimálním napětí uvedeném na štítku;
- elektroměry se dvěma základními proudy: zkouška náběhu se provádí při náběhovém proudu vypočítaném z menšího základního proudu.



Tab. 8.1 Náběhové proudy v procentech ze základního (referenčního) proudu resp. jmenovitého proudu [3]

Elektroměr	Třída přesnosti					
	0,2S	0,5S	0,5	1	2	3 (pouze jalové)
Elektromechanický pro přímé připojení	---	---	0,4 %	0,4 %	0,5 %	1,0 %
Elektromechanický pro připojení přes transformátor	---	---	0,2 %	0,2 %	0,5 %	1,0 %
Statický pro přímé připojení	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,4 %	0,5 %	1,0 %
Statický pro připojení přes transformátor	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,3 %	0,5 %
Elektroměr	Třída					
	A		B		C	
Činný pro přímé připojení	0,5 %		0,4 %		0,4 %	
Činný pro připojení přes transformátor	0,3 %		0,2 %		0,1 %	

Doba zkoušky  $t$  [v minutách] je nejdéle:

$$t = \frac{120 \cdot 10^3}{k \cdot m \cdot U_{ref} \cdot I_{st}} \quad (8.2)$$

kde:  $k$  je konstanta elektroměru [ot/kWh resp. ot/kvarh nebo imp/kWh, resp. imp/kvarh],

$m$  počet měřicích systémů,

$U_{ref}$  referenční napětí,

$I_{st}$  náběhový proud

Elektromechanický elektroměr je vyhovující, pokud se rotor elektroměru rozběhl a vykonal alespoň jednu plnou otáčku. Zkouška se provádí tak dlouho, až jsou popsané podmínky splněny, nejdéle však po dobu, za kterou by rotor zkoušeného elektroměru vykonal teoreticky 3 otáčky (pokud by měřil při náběhovém proudu bez chyb).

Statický elektroměr je vyhovující, pokud zkušební svítící dioda nebo výstup impulsu pro dálkové měření vyslaly alespoň 2 impulsy. Zkouška se provádí tak dlouho, až jsou popsané podmínky splněny, nejdéle však po dobu, za kterou by zkušební dioda zkoušeného elektroměru nebo výstup impulsu pro dálkové měření vyslala teoreticky alespoň 4 impulsy (pokud by měřil při náběhovém proudu bez chyb).

## 8.9 Zkouška přesnosti

Zkouška přesnosti musí být provedena buď:

- a) metodou snímání otáček kotouče nebo impulsu zkoušeného elektroměru, nebo
- b) metodou odečtu údaje z číselníku zkoušeného elektroměru.

Před začátkem měření chyby při daném nastaveném proudu je nutno vyčkat nejméně 5 s. Obě metody jsou podrobněji popsány v *kap. 9*.

Chyby měření elektroměru musí být zjištěny s nejistotami menšími než 1/4 mezí dovolených chyb podle *Tab. 8.2*. Výjimkou jsou statické elektroměry třídy přesnosti 0,2 S, kde nejistoty měření musí být menší 1/3 mezí dovolených chyb téže tabulky.

U elektroměru s mechanickým číselníkem může být při zkouškách prováděných metodou snímání otáček kotouče nebo impulsu zkoušeného elektroměru v záběru pouze bubínek nejnižšího řádu. Při metodě odečtu údaje číselníku mohou být v záběru nejvýše 2 poslední bubínky.

Pro elektroměry s přídavným zařízením platí stejné zkušební podmínky a stejné meze chyb jako pro elektroměry bez přídavných zařízení. Výjimku tvoří elektroměry s mechanickým přídavným zařízením pro měření maxima, kdy unášec nesmí přímo pohánět ukazatel maxima.

Pro speciální vyhotovení elektroměru se zkoušky přesnosti provedou za těchto podmínek:

- elektroměry s několika referenčními napětími: u elektroměru s více referenčními napětími nebo s celým rozsahem referenčních napětí se zkouška provádí při maximálním a minimálním napětí uvedeném na štítku;
- elektroměry se dvěma základními proudy: zkouška se provádí na nejnižším zkušebním bodě při menším základním proudu. Ve všech ostatních zkušebních bodech se provádí při vyšším základním proudu;
- elektroměry s datovým rozhraním: místo vizuálně odečítaných údajů může být pro zkoušky použito přístrojové odečítání obsahu příslušných registrů. Takto odečtené hodnoty a hodnoty zobrazené na displeji však musí být (alespoň na viditelných řádrových místech zobrazeného údaje) totožné. Toto porovnání musí být provedeno v průběhu zkoušky přesnosti nejméně jednou;
- vysílací elektroměry: u elektroměru vybavených svorkami s výstupem impulsu pro dálkové měření energie musí být kromě všech uvedených zkoušek provedena dodatečná zkouška tohoto výstupu. Použitá zkušební stanice musí být vybavena elektronickým zařízením schopným přijímat ten typ impulsu, který elektroměr vysílá.

Zkouška výstupu impulsu pro dálkové měření se provádí při referenčním napětí, základním proudu a účinníku rovnajícím se jedné.

Tab. 8.2 Meze chyb pro třífázové činné elektromechanické a statické elektroměry tříd přesností 0,5<sup>1)</sup>, 1 a 2 [3]

Měření číslo	Proud	Proud ve fázích	cos $\varphi$	Pro přímé připojení		Pro připojení přes měřicí transformátor		
				Třída př. 1	Třída př. 2	Třída př. 0,5	Třída př. 1	Třída př. 2
1 <sup>2)</sup>	5(10) % $I_b$	L1 - L2 - L3	1	± 1,5 %	± 2,5 %	± 1,0 %	± 1,5 %	± 2,5 %
2	50 % $I_b$	L1	1	± 2,0 %	± 3,0 %	± 1,5 %	± 2,0 %	± 3,0 %
3 <sup>3)</sup>	50 % $I_b$	L2	1	± 2,0 %	± 3,0 %	± 1,5 %	± 2,0 %	± 3,0 %
4	50 % $I_b$	L3	1	± 2,0 %	± 3,0 %	± 1,5 %	± 2,0 %	± 3,0 %
5	50 % $I_b$	L1	0,5 i	nezkouší se	nezkouší se	± 1,5 %	± 2,0 %	nezkouší se
6 <sup>3)</sup>	50 % $I_b$	L2	0,5 i	nezkouší se	nezkouší se	± 1,5 %	± 2,0 %	nezkouší se
7	50 % $I_b$	L3	0,5 i	nezkouší se	nezkouší se	± 1,5 %	± 2,0 %	nezkouší se
8	100 % $I_b$	L1 - L2 - L3	1	± 1,0 %	± 2,0 %	± 0,5 %	± 1,0 %	± 2,0 %
9	100 % $I_b$	L1 - L2 - L3	0,5 i	± 1,0 %	± 2,0 %	± 0,8 %	± 1,0 %	± 2,0 %
10	$I_{max}$	L1 - L2 - L3	1	± 1,0 %	± 2,0 %	± 0,5 %	± 1,0 %	± 2,0 %
<sup>1)</sup> Třída přesnosti 0,5 pouze pro elektromechanické elektroměry. <sup>2)</sup> Hodnota proudu v závorce platí pro elektromechanické elektroměry vyrobené do konce roku 1993. <sup>3)</sup> U třívodičových elektroměrů se měření č. 3 a č. 6 vynechá.								

Elektroměr je vyhovující, pokud jsou zjištěné chyby měření elektroměru menší než meze chyb uvedené v Tab. 8.2 (nejistota měření zkušebního zařízení se při stanovení chyby elektroměru neuvažuje).

## 8.10 Zkouška číselníku

Zkouška číselníku se provádí pouze v případě, že zkouška přesnosti byla provedena podle metody snímání otáček rotoru (kotoučku) nebo impulsu zkoušeného elektroměru.

Zkouška číselníku se provádí při účinníku  $\cos \varphi = 1$  a při jednom z těchto proudů:

- základní proud (u elektroměru se dvěma základními proudy při vyšším z nich),
- maximální jmenovitý proud.

POZNÁMKA: Pokud na štítku elektroměru není vyznačen maximální jmenovitý proud  $I_{max}$ , pak se pro účely tohoto předpisu rovná 1,2 násobku jmenovitého (základního) proudu vyznačeného na štítku.

Při zkoušce číselníku se zjišťuje rozdíl chyb změřených:

- pomocí otáček kotouče nebo impulsů zkušebního výstupu (systémová chyba),
- pomocí údaje číselníku před a po definované dávce energie (absolutní chyba).

Rozdílová chyba = absolutní chyba – systémová chyba

Tab. 8.3 Největší dovolený rozdíl chyb z údaje číselníku a z otáček kotouče (z impulsů svítící diody) [3]

Elektroměr třídy přesnosti	0,2S	0,5S a 0,5	1	2	3 (pouze jalové)	A	B	C
Dovolený rozdíl chyb	±0,15 %	±0,3 %	±0,5 %	±1,0 %	±1,5 %	±0,4 %	±0,2 %	±0,1 %

Elektroměr je vyhovující, pokud jsou zjištěné rozdíly chyb metodou snímání otáček rotoru anebo impulsu zkoušeného elektroměru a metodou odečtu údaje počítadla zkoušeného elektroměru při stejném proudu menší než 1/10 meze chyby při referenčních podmínkách. U elektroměru třídy přesnosti 0,2 S, stačí poměr 1/4 meze chyby.

## 9 Metody měření

Pro ověřování elektroměrů jsou povoleny pouze metody měření, kde je konvenčně pravá (etalonová) hodnota energie stanovena z údaje etalonového elektroměru. [3]

Podle způsobu odečtu údaje energie zkoušeného elektroměru se metody s etalonovým elektroměrem dělí na:

- metodu snímání otáček kotouče resp. impulsů zkoušeného elektroměru,
- metodu odečtu údaje číselníku zkoušeného elektroměru.

### 9.1 Metoda snímání otáček kotouče resp. impulsů zkoušeného elektroměru

Zkušební stanice musí být vybavena optoelektrickým zařízením na snímání otáček kotouče nebo světelných impulsů diod nebo výstupních elektrických impulsů zkoušených elektroměrů. Dále musí být vybavena automatickým elektronickým zařízením, které spustí (při průchodu značky na kotouči anebo „nulovým impulsem“ zkoušeného elektroměru) počítání otáček resp. impulsů zkoušeného elektroměru a současně měření energie etalonovým elektroměrem. [3]

Po dosažení předem zvoleného počtu otáček kotouče resp. počtu impulsů zkoušeného elektroměru toto elektronické zařízení (při průchodu značky na kotouči anebo „posledním impulsem“ zkoušeného elektroměru) vypne počítání impulsů a současně i měření energie etalonovým elektroměrem.

Při měření etalonovým elektroměrem se jeho údaj nečte z číselníku, ale s výhodou se využívá vysoký kmitočet jeho výstupních impulsů. Doba měření se tak výrazně zkrátí.

Relativní chyba měření  $\delta_{zk}$  zkoušeného elektroměru se počítá podle vztahu:

$$\delta_{zk} = \left( \frac{n_{zk} \cdot k_{et}}{n_{et} \cdot k_{zk}} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.1)$$

kde:	$n_{zk}$	je	počet otáček (impulsů) zkoušeného elektroměru,
	$n_{et}$		počet impulsů etalonového elektroměru,
	$k_{zk}$		konstanta zkoušeného elektroměru v ot/kWh, nebo ot/kvarh, resp. imp/kWh nebo imp/kvarh,
	$k_{et}$		konstanta etalonového elektroměru v ot/kWh, nebo ot/kvarh, resp. imp/kWh nebo imp/kvarh.

Automatické vyhodnocovací zařízení podle tohoto vztahu ihned po měření chybu  $\delta_{zk}$  vypočítá a zobrazí.

Při metodě snímání otáček kotouče resp. impulsů zkoušeného elektroměru, je třeba uvážit, že elektrická práce se z definice rovná součinu výkonu a času, po který se měří. Právě z důvodu velmi krátkých časů měření se může stát, že nejistota měření převyší dovolený poměr nejistot a mezí chyb zkoušeného elektroměru podle *kap. 8.10*, i když je použitý etalonový elektroměr velmi přesný. Příliš krátké doby měření se totiž projeví zhoršením rozlišovací schopnosti měření etalonovým elektroměrem - nejistota měření nemůže být lepší než rozlišovací schopnost.

Má-li např. velmi kvalitní etalonový elektroměr max. chybu 0,05 % a měření probíhá při velkých proudech (výkonech) pouze na jednu otáčku zkoušeného elektroměru, lze potom ze znalosti konstant  $k_{zk}$  a  $k_{et}$  vypočítat počet impulsů  $n_{et}$  vyslaných etalonovým elektroměrem do vyhodnocovacího zařízení. Toto zařízení ovšem může (z logiky diskrétních signálů) zachytit o 1 impuls více nebo o 1 méně, než by odpovídalo prošlé energii. Pokud pro určitý případ vyjde např. počet  $n_{et}$  400 imp., je rozlišovací schopnost 1/400, tedy 0,25 %. Tuto položku je nutno též zahrnout (podle zásad v dokumentu EA 4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích) do celkové nejistoty měření. Z uvedeného je zřejmé, že i s velmi dobrým etalonem lze při této metodě dosáhnout při velmi krátkých dobách měření značně nepřesných výsledků. [3]

## 9.2 Metoda odečtu údaje číselníku zkoušeného elektroměru

Tato metoda se nazývá také metoda dávkování energie, nebo vzhledem k dlouhé době trvání této zkoušky také metoda dlouhodobé zkoušky. Princip je v tom, že zkoušeným elektroměrem prochází přesné množství energie měřené etalonovým elektroměrem. [3]

Chyba  $\Delta_{zk}$  zkoušeného elektroměru se vypočítá podle vztahu:

$$\delta_{zk} = \left( \frac{E_{1zk} - E_{2zk}}{E_{et}} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.2)$$

kde:  $E_{et}$  je údaj etalonového elektroměru (velikost dávky energie) – může být odečten přímo z číselníku etalonového elektroměru nebo vypočítán z počtu  $n_{et}$  impulsů vyslaných etalonovým elektroměrem jako  $n_{et}/k_{et}$ , kde  $k_{et}$  je konstanta etalonového elektroměru,

$E_{1zk}$  údaj zkoušeného elektroměru po průchodu dávky energie,

$E_{2zk}$  údaj zkoušeného elektroměru před průchodem dávky energie.

Při této metodě se problém malé rozlišovací schopnosti a tím i zhoršení nejistoty měření projevuje více na straně zkoušeného elektroměru. Pokud bude např. poslední bubínek číselníku rozdělen na 100 dílků a obsluha stanice zapisuje údaj číselníku pouze na celé dílky je zřejmé, že se v nejlepším případě dopouští chyby 0,5 dílku na začátku měření a 0,5 dílku na konci. Rozlišovací schopnost údaje  $E_{zk}$  je tedy dohromady 1 dílek. Otočí-li se poslední bubínek dvakrát dokola, je rozlišovací schopnost 1/200, což je 0,5 %. Tuto položku je nutné také zahrnout (podle zásad v dokumentu EA 4/02) do celkové nejistoty měření, která vychází takto jistě větší než 0,5 %. Pokud aplikován uvedený příklad na elektroměr třídy přesnosti 2, kde je podle podmínek *kap. 8* dovolena nejistota měření (mimo proud 5 %) menší než 0,5 %, musí buď obsluha zapisovat údaj i na poloviny dílků anebo měřit minimálně na 3 otáčky posledního bubínku. Odečet může být proveden buď okem zkušene obsluhy anebo elektronicky přes optické nebo elektrické rozhraní. [3]

Při praktickém měření, které je popsáno v *kap. 10.3.2*, je odečet číselníku indukčního elektroměru proveden na tři desetinná místa při třech otáčkách posledního bubínku, tj. elektroměr zaznamená spotřebu nejméně 3 kWh.

## 10 Měření na indukčním a statickém vzorku elektroměru

### 1) Podmínky pro přípravu elektroměru

Při repasi elektroměrů se používají nebezpečné chemické látky, proto se tato činnost provádí v dobře odvětrávaných prostorách při dodržování bezpečnostních zásad a hygieny práce. Zkoušky izolace se provádějí za podmínek uvedených v ČSN EN 62053. Použité čisticí prostředky se likvidují podle nařízení vlády č. 473/2009 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky. [5]

### 2) Měřidla a pomůcky pro přípravu elektroměru

- VN zkušební zdroj, určený k testování elektrické bezpečnosti elektrických přístrojů a spotřebičů, typ HIPOT TESTER 19054 od výrobce Chroma s platným kalibračním listem. Přístroj umožňuje provádět izolační zkoušky napětím 5 kV AC nebo 6 kV DC,
- nářadí potřebné pro čištění, opravy, zapojení, seřizování a regulaci elektroměrů,
- čisticí, mazací a konzervační prostředky (odmašťovací prostředky, technický benzín, hodinářský kyselinoprostý olej, hadry nepouštějící vlákna, štětce apod.)

## 10.1 Příprava elektroměrů ke zkoušce

- očistit celý povrch elektroměru včetně průzoru a svorkovnic,
- zkontrolovat všechny šrouby (závity a zářezy pro šroubovák) a ostatní součásti elektroměru (svorkovnice, propojovací můstky na svorkovnici, víka, kryty, průzory),
- zkontrolovat přitažení svorkovnic k tělesu elektroměru a těsnost dosedacích ploch krytů,
- případné vadné součásti vyměnit nebo opravit.

### 10.1.1 Indukční elektroměr

Odkrýt víko elektroměru, demontovat, vyčistit a vynulovat počítadlo. Odpojit příslušenství speciálních provedení elektroměrů (ovládací mechanismy přepínacích prvků tarifů, maxima apod.). Počítadlo demontovat a rozebrat (pozor na vymezovací plastovou podložku na hřídeli číselníku). Kovové části vymýt technickým benzínem, plasty vyčistit nasucho štětcem (benzín je naleptává). Počítadlo složit tak, aby zobrazovalo nulový stav a vyfoukat vzduchem. Třecí části hřídelí s kovovými částmi kostry jemně namastit hodinářským olejem, plastové samomazné části nemazat. Zkontrolovat, zda počítadlo nedrhne, zda neklade hnací kolo při přechodu z nul na devítky a zpět mechanický odpor, zda není žádná ze hřídelí ani kostra počítadla pokřivená a dále zkontrolovat mechanickou funkci přepínacích prvků (platí pro tarify a měření maxima).

Vyčistit měřicí systém elektroměru. Vyjmout ložiska, rozebrat a vymýt kovové části benzínem (pozor, v některých typech spodního ložiska je vložena miniaturní kulička), vysušit, zkontrolovat nezávadnost, ložisko jemně namastit řídkým hodinářským olejem a složit. Vyjmout kotouček, umýt pomocí štětce benzínem, vysušit vzduchem. Kostru elektroměru s cívkami vyčistit štětcem od magnetického prachu, dotáhnout elektrické spoje (pozor, neměnit nastavení regulačních prvků a šroubů), vyfoukat vzduchem. Zkontrolovat mezery jader cívek a magnetické brzdy, případně odstranit zmagetované kovové špony. Zkontrolovat všechny regulační prvky elektroměru (šrouby - závity a zářezy pro šroubovák i nezávadnost magnetických a rezistenčních bočniců).

Složit elektroměr. Vložit kotouček a ložisky vystředit vůli tak, aby kotouč ve svislé poloze nikde nedrhnul a otáčel se volně. Namontovat počítadlo (kontrola vůle mezi šnekem a hnacím kolem počítadla ve svislé poloze), připojit a zkontrolovat funkčnost příslušenství speciálních provedení elektroměrů (ovládací mechanismy přepínacích prvků tarifů, maxima apod.). Zkontrolovat vizuálně, zda se vodiče nebo svorky v elektroměru nedotýkají sebe navzájem ani kovových částí elektroměru ani pouzdra. Zkontrolovat funkci zpětné brzdy elektroměru zda nedrhne. Vyčistit sklo (průzor) a těsnící plochy víka a víko elektroměru našroubovat. Zkontrolovat těsnost pouzdra. [8]

### 10.1.2 Statický elektroměr

Odkrýt čelní víko elektroměru, opatrně vyčistit od prachu suchým štětcem displej a prostor pod čelním víkem. Celý prostor včetně displeje otřít čistým hadrem mírně navlhčeným v technickém lihu.

Zkontrolovat vizuálně, zda se vodiče nebo svorky v elektroměru nedotýkají sebe navzájem. Vyčistit sklo (průzor) a těsnící plochy víka a víko elektroměru zaklopit.

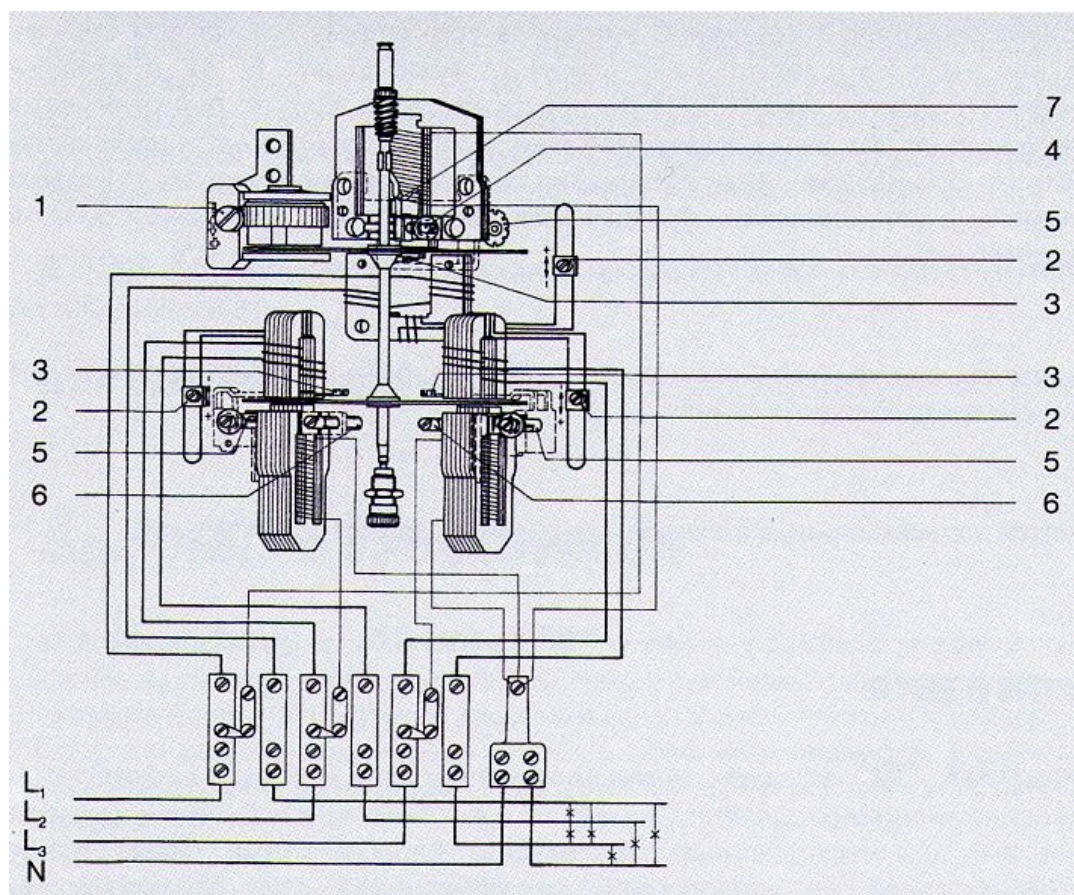
Na elektroměrech s elektronickým displejem zkontrolovat, zda jsou po připojení do sítě na displeji viditelné všechny znaky. Zkontrolovat těsnost pouzdra. [8]

### 10.1.3 Napěťová zkouška izolace

Zkoušku pevnosti elektrické izolace provést podle *kap. 8.6.*

### 10.1.4 Seřízení indukčního elektroměru

Všechny regulační prvky v elektroměru jsou lehce přístupné a manipulace s nimi se provádí pomocí běžného šroubováku. K seřízení elektroměru není zapotřebí žádných speciálních nástrojů. Regulační rozsahy mají širokou polohovatelnost a jejich vzájemné ovlivňování je zanedbatelné. Nastavenou polohu regulačních prvků není potřebné žádným způsobem fixovat. Jejich stabilita je odolná vůči nárazům a otřesům díky elastickým uložením, která vyvolávají dostatečná tření, aby nedocházelo ke změnám poloh regulačních prvků během jejich dopravy a provozu. [8]



*Obr. 10.1 Regulační prvky indukčního elektroměru*



Seznam regulačních prvků podle Obr. 10.1:

1. regulace magnetem velkých zatížení,
2. regulace fáze odporovou smyčkou,
3. hrubá regulace malého zatížení,
4. jemná regulace malého zatížení,
5. vyrovnávání točivých momentů,
6. vyrovnávání obráceného sledu fází,
7. magnetická brzda pro zamezení chodu pod napětím.

**Regulace velkého zatížení** se provádí natáčením brzdícího magnetu šroubem, který působí jako závitová převodovka. Celkový rozsah regulace je vyšší než 50 %.

**Regulaci fáze** provést změnou polohy běžce na odporové smyčce. Běžec je na smyčce upevněný šroubem, a celý mechanismus je pak uložen v bakelitovém pouzdře. Každý hnací systém je vybaven jednou odporovou smyčkou. Celkový rozsah regulace je asi 12 % při  $\cos \varphi = 0,5$ .

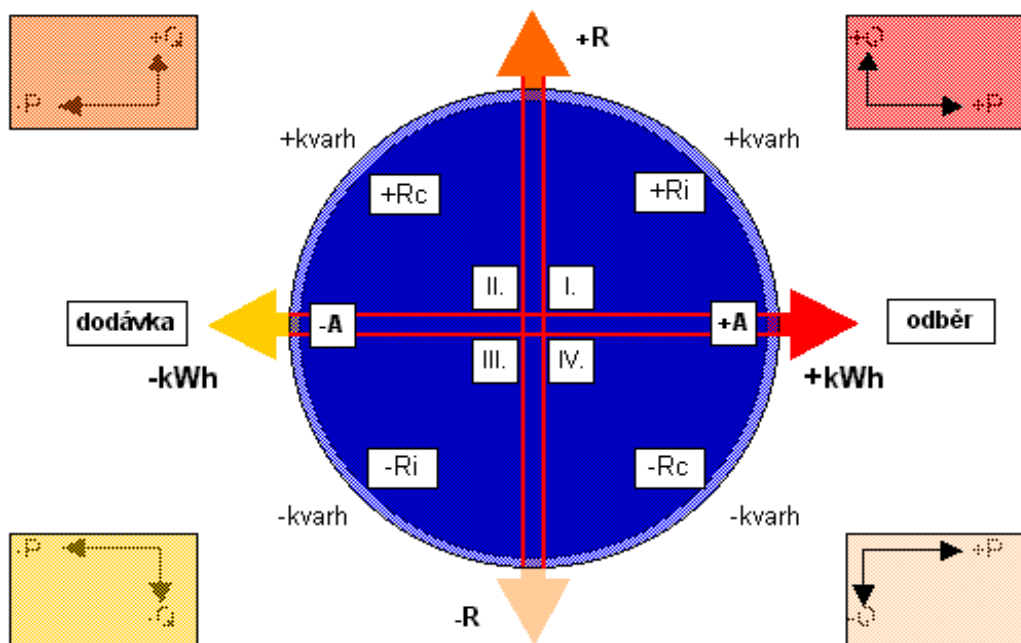
**Momentová regulace** je tvořena nastavitelným magnetickým bočníkem na napěťovém jádře každého hnacího systému, které se ovládá natáčecí osičkou s drážkou pro šroubovák. Celkový rozsah regulace je 10 %.

**Magnetická brzda** je umístěná vždy na horním hnacím systému, nastavuje se nahýbáním anebo posouváním ocelové brzdy, nasunuté na ose otáčecího systému.

#### 10.1.5 Příprava měřicí stanice

- a) Zapnout stanici na zkoušení elektroměrů MTE – S10.10 vybavenou etalonovým elektroměrem ENZ 121.3,
- b) Spustit obslužné PC a program CAMCAL, který bude řídit průběh zkoušek,
- c) Elektroměry zavěsit na řadnici a zapojit napěťové a proudové obvody, případně i pomocné obvody podle návodu výrobce a „uživatelské příručky SZS – stacionární zkušební stanice“,
- d) Zvolit kartu typu podle typu zkoušeného elektroměru.
  - Zkontrolovat shodnost údajů v kartě typu a údajů na zkoušeném elektroměru (hladiny napětí, proudu, maximálního proudu, konstant elektroměru apod.),
  - Pokud karta zkoušeného typu v databance neexistuje, musí se vytvořit,
  - Kartu typu po kontrole uzavřít.
- e) Zvolit kartu průběhu měření podle typu a třídy přesnosti ověřovaného elektroměru a provést kontrolu průběhu měření.
  - Body jednotlivých měření definovat pro zkoušené typy elektroměrů podle kap. 8 pro zkoušku chodu naprázdno, zkoušku náběhu, zkoušku přesnosti a zkoušku číselníku,
  - V jednotlivých bodech zátěže kontrolovat nastavení zdroje výkonu, mezí chyb a minimální časy měření zkušebních bodů,

- Ve zkušebním bodě maximální zátěže - nadefinovat procentuální proudové nastavení podle  $I_n$  a  $I_{max}$  elektroměru dle skutečnosti,
- V bodech číselník nastavit zdroj na 100 %  $U_n$ , 100 %  $I_n$ , faktor  $\cos \varphi = 1$  a stanovit velikost dávky elektrické energie podle rozlišovací schopnosti číselníku tak, aby byla dodržena povolená nejistota měření, tj. maximálně 0,25 % z třídy přesnosti. Počet měření číselníků a nastavení zdroje vyplývá z tarifů a druhu číselníků podle karty typu. Konkrétní nastavení měřicích bodů pro kalibraci je přizpůsobeno velikosti měření zátěže, i jejímu fázovému posunu mezi napětím a proudem podle Tab.10.3.



Obr. 10.2 Čtyřkvadrantní rozsah stacionární zkušební stanice

## 10.2 Technická data zkoušených měřidel

### 10.2.1 Elektroměry

K vlastnímu provedení měření neharmonických průběhů spotřebičů vybavených spínanými zdroji byl záměrně vybrán jak zástupce dosluhující generace elektroměrů, s měřením spotřebované elektrické energie na indukčním principu – nebo též Ferrarisovém principu měření, a zástupce současného moderního způsobu, měření energie statickými elektroměry. Oba použité typy elektroměrů jsou blíže popsány v kap. 3.1.1 od výrobce Křížík, resp. v kap. 3.2.2 od výrobce Landis + Gyr.

Jako zástupce prvního byl vybrán indukční elektroměr s běžnou třídou přesnosti 2 pro přímé měření, určený k montáži do odběrných míst měřící domácnosti či jiné obytné i neobytné prostory, mající proudový odběr od několika stovek miliampér až po několik desítek ampér. Maximální proudové zatížení omezuje předřazený jistič, podle kterého se následně volí také proudový rozsah elektroměru. Vše uvažováno na napěťové hladině 3 x 230 / 400 V.

Princip statických elektroměrů reprezentují dva kusy elektroměrů, z nichž jeden s třídou přesnosti 2 je odpovídající moderní náhradou za dosluhující výše zmiňovaný indukční elektroměr. Druhý statický elektroměr má třídu přesnosti 1, a při měření bude hrát roli určité kontroly. Svým provedením je určen pro nepřímé proudové měření, je tedy zapojen přes měřicí transformátory proudu MTP ( $x/5$  A), avšak pro účely následujících zkoušek byl naparametrizován na převod  $MTP = 1$ , tzn. na převod  $5/5$  A.

*Tab. 10.1 Technická data elektroměrů*

Elektroměr	Statický	Statický	Indukční
Výrobce	Landis + Gyr	Landis + Gyr	ZPA Prešov
Typ	ZMD410CT21.0000S2	ZMD120AR44.1100.c4	ET 416-2
Výrobní číslo	84 293 605	90 146 987	6 232 760
Napětí	3 x 230 / 400 V	3 x 230 / 400 V	3 x 230 / 400 V
Proud	$x/5$ A	5 (100) A	10 – 60 A
Třída přesnosti	1	2	2
imp. / kWh	10 000	10 000	120
Úřední značka schválení	TCM 221/01-3509	TCM 221/98-2987	CS 22 12/77-287
Rok výroby	2005	2008	1993

### 10.2.2 Analyzátor sítě BK 330

Při měření je používán analyzátor sítí od firmy BK – ELCOM v provedení ENA330.11. Je to model umožňující kompaktní analýzu kvality elektřiny bez displeje. Přístroj je vybaven čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy. Proud se měří nepřímo použitím klasických proudových kleští s železným jádrem nebo flexibilních Rogowského cívek. Model ENA330.11 obsahuje výkonné PC a záložní napájení pro přibližně jednu minutu provozu.

Rozměry umožňují snadné uzavření přístroje v rozvaděčích. Přístroj se nastavuje z notebooku. Pro snadnou komunikaci s periferními zařízeními je přístroj vybaven rozhraními USB a Ethernet. Přístroj lze vybavit volitelným rozsahem paměti pro ukládání naměřených dat. Dle zvoleného ukládacího intervalu lze měřit a ukládat data nepřetržitě až několik měsíců.



*Obr. 10.3 Analyzátor sítí BK-ELCOM typ ENA330*

### Technická specifikace:

#### Všeobecně:

Intervaly ukládání	k*0,2 s/ 3 s/ k*1 min./ 10 min./ 15 min./ 2 h
Pracovní teplota	- 25 až + 50 °C
Skladování	- 30 až + 80 °C

#### Napětové vstupy:

Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy	450 V, 250 V, 110 V, 65 V (RMS)
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Vstupní impedance	200 k $\Omega$ , 10 pF
Izolační pevnost	4,2 kV RMS, 50 Hz, 1 min.
Přesnost	$\pm 0,1 \%$
Zapojení	1 - fázové, 3 - fázové, 3 - fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron

#### Proudové vstupy:

Počet vstupů	4
Vstupní rozsah	dle použitých proudových kleští
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Přesnost	$\pm 0,1 \%$

#### Hardware:

Operační paměť	512MB RAM
Procesor	Intel® Celeron® M
HDD	CF 1GB
Rozhraní	USB, Ethernet
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600 S/s, 19200 S/s, 38400 S/s
Napájení	180 až 265 V AC, 47 až 63 Hz
Příkon	20 VA

### 10.3 Realizace měření

Jak již bylo napsáno v úvodní části, budou vybrané vzorky elektroměrů měřit odebranou elektrickou energií takových spotřebičů, které jsou ve svých vstupních napájecích obvodech vybaveny spínanými zdroji. Takovými spotřebiči mohou být např. televizory, radiopřijímače, DVD, zvlhčovače ovzduší, notebooky, výpočetní technika, monitory apod. Zástupcem spotřebičů se spínanými zdroji jsou v této práci tři počítačové sestavy (vždy PC + monitor) a jeden třífázový výkonový kalibrátor Meatest M-103, dohromady o celkovém proudovém odběru 5,2 A. Údaje o použitých spotřebičích jsou v *Tab. 10.2*.

*Tab. 10.2 Spotřebiče použité při měření*

Údaje: Odběry:	Spotřebič	Výrobce (prodejce)	Typ	Zdroj (u PC sestav)	Stálý odběr [A]
1. PC sestava	Počítač	Autocont	ASUS	200 W	0,3
	Monitor CRT	Viewsonic	P 810	-----	0,7
2. PC sestava	Počítač	Autocont	ASUS	200 W	0,3
	Monitor CRT	Viewsonic	VE 150m	-----	0,6
3. PC sestava	Počítač	Fujitsu	Fujitsu	200 W	0,3
	Monitor LCD	Fujitsu	X 178	-----	0,3
Třífázový výkonový kalibrátor		Meatest	M - 103	-----	2,7
					$\Sigma = 5,2 \text{ A}$

#### 10.3.1 Kalibrace měřidel

Seřízení a následná kalibrace vybraných vzorků elektroměrů metodou snímání otáček kotouče resp. impulsů podle *kap. 9.1*, a metodou odečtu údaje číselníku (*kap. 9.2*) také pro jejich kontrolu, která znamená v prováděném měření nejdůležitější údaj. To proto, že analyzátor sítě řady ENA330 nedisponuje žádným impulsním výstupem, a je tedy nemožné u něj naměřit systémovou chybu. Proto je zkoušen jen metodou údaje číselníku, které jako jediné měření lze seriózně porovnávat s naměřenými hodnotami číselníků u elektroměrů.

Zkoušky probíhají na měřicí stanici vybavené etalonovým elektroměrem v různých zátěžových bodech, které však pro účely prováděného měření neodpovídají technickému metrologickému předpisu TPM 2440-08 podle *Tab. 8.2*. Zvolené zátěžové body jsou však navrženy s ohledem jak na přijatelnou kalibraci elektroměrů, tak i na jejich kalibraci zejména v okolí takových hodnot, které věrně kopírují velikost zatížení včetně  $\cos \varphi$  měřené zátěže – tří počítačových sestav a třífázového výkonového kalibrátoru.

Kalibraci elektroměrů provádí měřicí stanice automaticky podle sestaveného průběhu měření, který byl vytvořen podle zásad uvedených v *kap. 10.1.5*. Pro takhle sestavený průběh měření platí:  $I_n = 10 \text{ A}$ . Znamená to tedy, že měřicí stanice dodává např. při páté zkoušce (podle *Tab. 10.3*) do elektroměru takový výkon, který odpovídá napětí 3 x 230 / 400 V (L123), proudu 5,2 A (52 %  $I_n$ ) a fázovému posunu  $\cos \varphi = 1$ . Naměřené chyby jsou uvedeny v *Tab. 10.3* a protokol ze zkoušky, který je automaticky generován měřicí stanicí, je uveden v *Příloze č. I*.

Tab. 10.3 Naměřené chyby měřidel při kalibraci

Měřidlo: Zátěžový bod:	BK - ELCOM ENA 330.11	Statický elměr ZMD410 cl. 1	Statický elměr ZMD120 cl. 2	Indukční elměr ET 416 cl. 2
5 % $I_n$ L123 $\cos \varphi = 1$	-----	- 0,00 %	0,47 %	- 0,14 %
10 % $I_n$ L123 $\cos \varphi = 1$	-----	0,01 %	0,41 %	- 1,01 %
25 % $I_n$ L1-- $\cos \varphi = 1$	-----	- 0,05 %	0,65 %	0,68 %
52 % $I_n$ L1-- $\cos \varphi = 1$	-----	- 0,01 %	0,65 %	0,38 %
52 % $I_n$ L123 $\cos \varphi = 1$	-----	0,00 %	0,53 %	- 0,84 %
52 % $I_n$ L123 $\cos \varphi = 0,5i$	-----	0,02 %	0,79 %	- 1,76 %
52 % $I_n$ L1-- $\cos \varphi = 0,998c$	-----	- 0,02 %	0,60 %	0,52 %
52 % $I_n$ L1-- $\cos \varphi = 0,9975c$	-----	- 0,00 %	0,64 %	0,50 %
52 % $I_n$ L1-- $\cos \varphi = 0,997c$	-----	- 0,00 %	0,61 %	0,50 %
<b>Údaje číselníků při 52 % <math>I_n</math> L1-- <math>\cos \varphi = 0,998c</math> [kWh]:</b>				
Počáteční stav	1,130	4,872	2,422	4,445
Koncový stav	2,231	5,971	3,528	5,553
Relativní chyba	-----	- 0,06 %	- 0,09 %	0,13 %
Systémová chyba	-----	- 0,03 %	0,64 %	0,60 %
Absolutní chyba	<b>0,09 %</b>	<b>- 0,09 %</b>	<b>0,55 %</b>	<b>0,73 %</b>

Výpočet chyby číselníku:

Výpočet je demonstrován pro měřidlo BK – Elcom ENA330.11.

Kalibrace číselníku je provedena pro energii 1,1 kWh.

Chyba  $\Delta_{zk}$  zkoušeného měřidla se vypočítá podle vztahu 9.2:

$$\delta_{zk} = \left( \frac{E_{1zk} - E_{2zk}}{E_{et}} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\delta_{zk} = \left( \frac{2,231 - 1,130}{1,1} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,101}{1,1} - 1 \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,09 \%}} \quad (10.1)$$

Pro výpočet relativní a systémové chyby platí:

Rozdílová (relativní) chyba = absolutní chyba – systémová chyba

### 10.3.2 Měření spotřeby spínaných zdrojů kalibrovanými měřidly

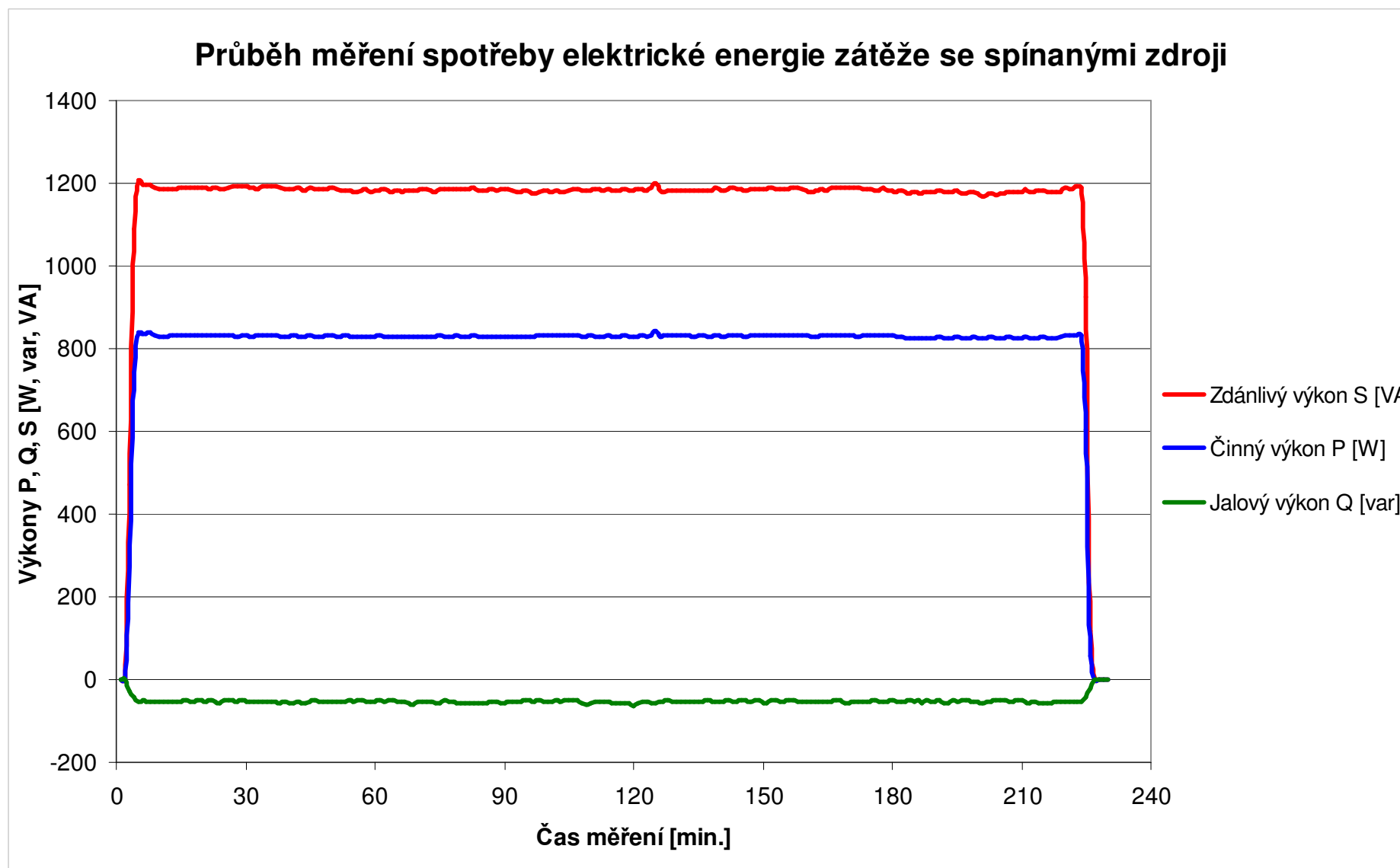
Měření odebrané elektrické energie spotřebičů se spínanými zdroji zaznamenávají seřízené a kalibrované elektroměry společně s analyzátozem sítě BK ENA 330.11 firmy Elcom, který v této fázi měření zaujímá jinou úlohu než doposud. Díky své třídě přesnosti zde bude sloužit jako etalon. Navíc je již také známa jeho absolutní chyba číselníku při měření elektrické energie (kWh), která byla zjištěna při jeho kalibraci a je uvedena i s chybami elektroměrů v *Tab. 10.3*. Výpočet absolutní chyby analyzátoru sítě (nyní již etalonu) je proveden hned pod tabulkou a pro lepší vypovídací schopnost upraven na procentuální hodnotu.

V *Tab. 10.2* jsou uvedeny spotřebiče (tři PC sestavy a třífázový výkonový kalibrátor s celkovým odběrem 5,2 A), které jsou všechny připojené na jeden společný napájecí bod. Tento bod je měřen třemi různými elektroměry a analyzátozem sítě. Tam, kde to vlastnosti měřidla dovolují, je provedeno vynulování počítadla (číselníku) odebrané elektrické energie. Vynulovány jsou tedy statické (elektronické) elektroměry pomocí jejich software a optické komunikační hlavy, a také analyzátor sítě. Vynulování indukčního elektroměru se neprovádí, protože by to znamenalo zásah do seřízeného a kalibrovaného ústrojí, který by bylo touto manipulací porušeno, a naměřená data při kalibraci by ztratila na věrohodnosti.

Měření probíhá metodou dávkování energie blíže popsanou v *kap. 9.2*, která svým charakterem patří do kategorie zkoušek dlouhodobých, protože měřidly prochází přesné množství energie zaznamenávané na číselnících. Odečet číselníku indukčního elektroměru je provedeno na tři desetinná místa při více než třech otáčkách posledního bubínku, tj. indukční elektroměr zaznamená spotřebu nejméně 3 kWh. Takto zvolená dávka zajistí dostatečnou přesnost měření, protože minimální požadované jedno otočení posledního bubínku je zde překročeno hned 3 krát a také časová náročnost trvání zkoušky 3 a  $\frac{3}{4}$  hodiny zajišťuje serióznost měření.

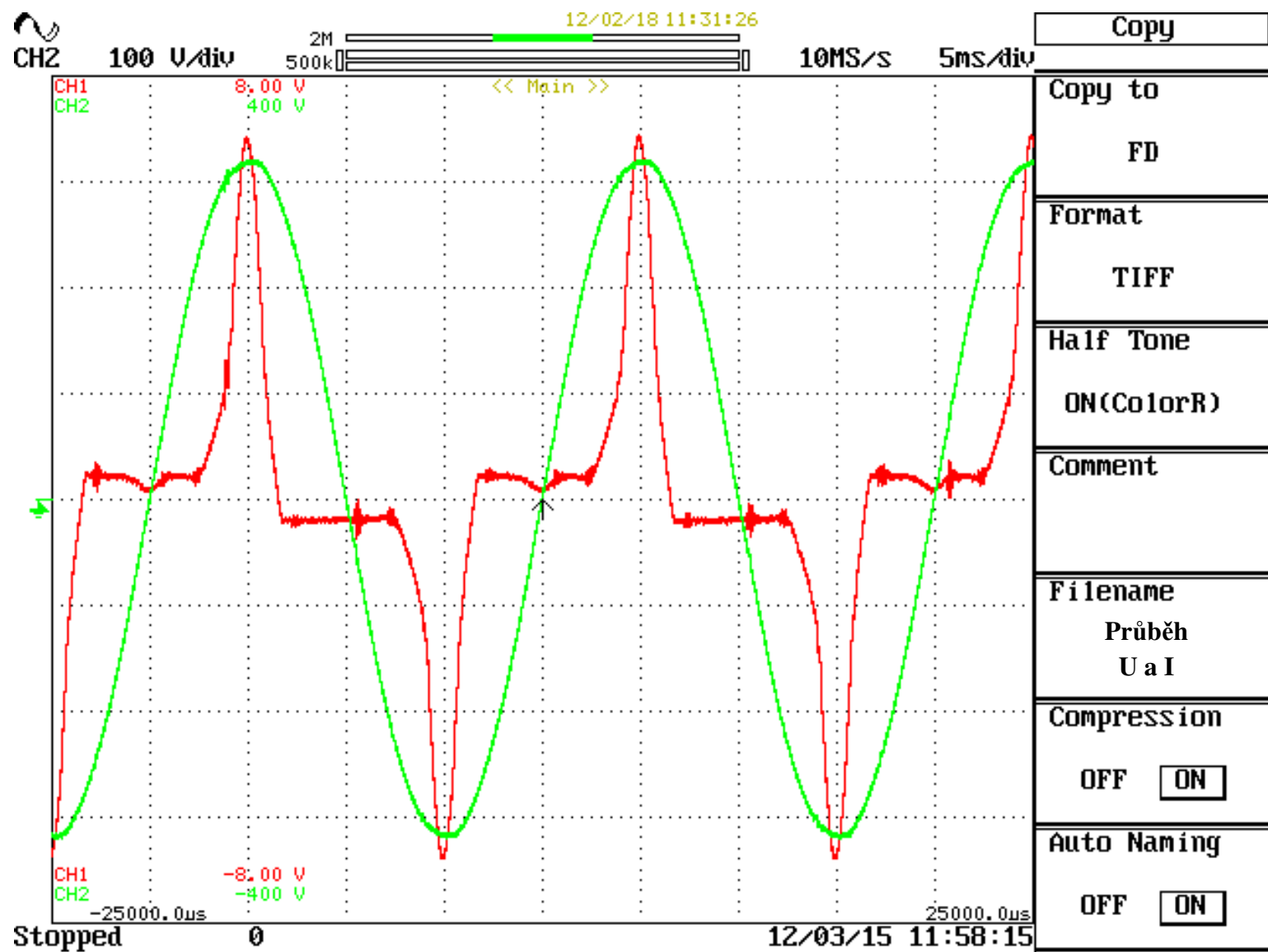
Zkratky používané v grafickém vyobrazení analyzátoru sítě BK 330.11:

$P$ [kW]	činný výkon zvolené fáze zahrnující všechny harmonické
$P_i$ [kW]	činný výkon zvolené harmonické/meziharmonické
$S$ [kVA]	zdánlivý výkon zvolené fáze zahrnující všechny harmonické
$S_i$ [kVA]	zdánlivý výkon zvolené harmonické/meziharmonické
$Q$ [kvar]	jalový výkon zvolené fáze zahrnující všechny harmonické
$Q_i$ [kvar]	jalový výkon zvolené harmonické/meziharmonické
PF [-]	skutečný (opravdový) účinník lambda (poměr $P$ a $S$ )
$\cos \varphi_i$ [-]	účinník zvolené harmonické/meziharmonické
$U_{RMS}$ [V]	efektivní hodnota napětí zvolené fáze zahrnující všechny harmonické
THD $U$ [%]	činitel harmonického zkreslení napětí (vztaheno k první harmonické)
$U_i$ [V]	efektivní hodnota pro harmonické napětí zvolené fáze (základem je 1. harmonická)
$U_i$ [%]	procentní podíl pro harmonické napětí zvolené fáze (základem je první harmonická)
$I_{RMS}$ [A]	efektivní hodnota proudu zvolené fáze zahrnující všechny harmonické
THD $I$ [%]	činitel harmonického zkreslení proudu
$I_i$ [A]	efektivní hodnota zvolené harmonické/meziharmonické proudu zvolené fáze
$I_i$ [%]	procentní podíl zvolené harmonické proudu zvolené fáze (základem je 1. harmonická)
$f_i$ [Hz]	frekvence odpovídající zvolené harmonické/meziharmonické
$\cos \varphi_i$ [-]	účinník dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$\varphi_i$ [°]	úhel mezi napětím a proudem dané fáze pro vybranou harmonickou ve stupních

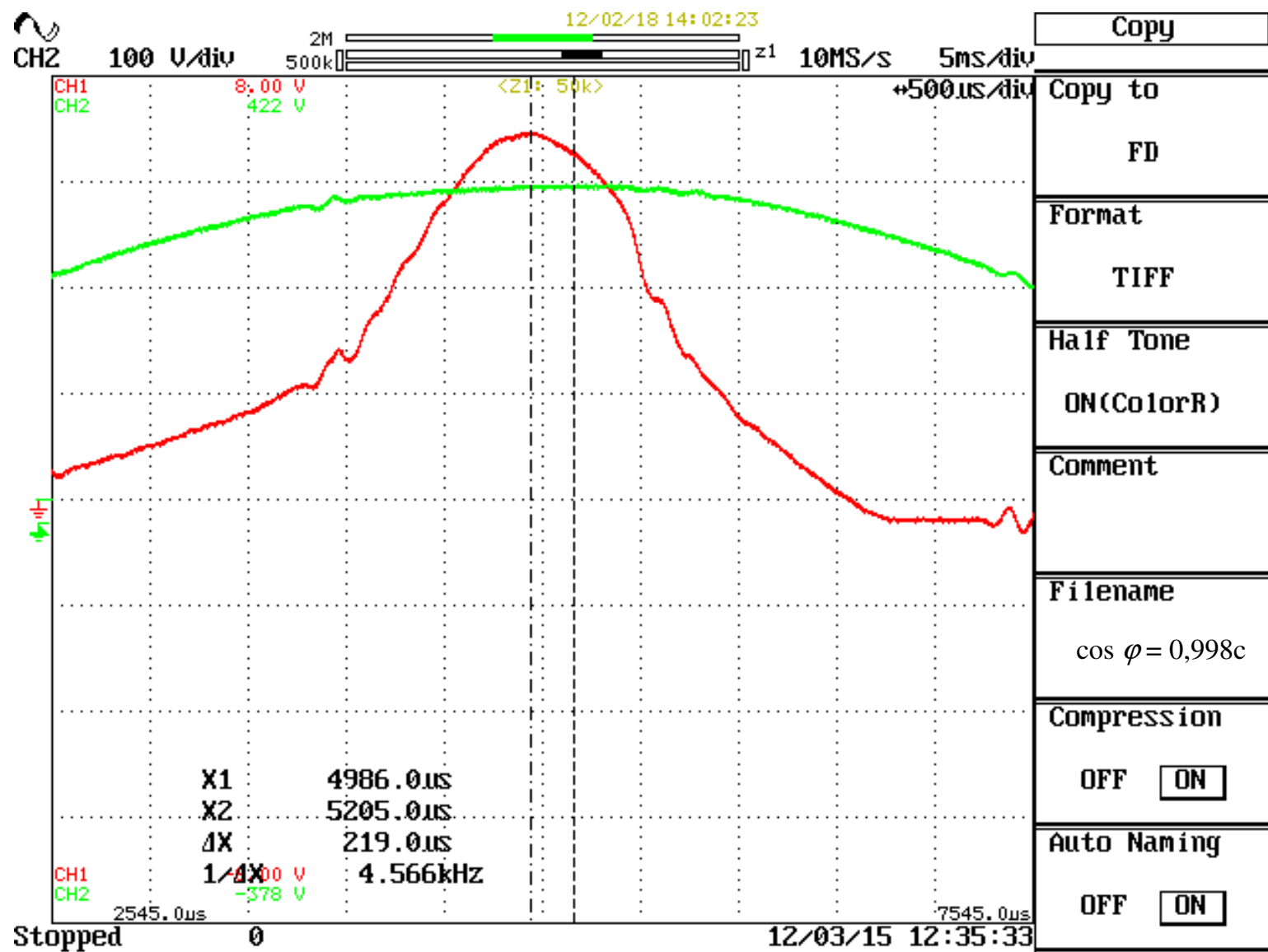


Obr. 10.4 Průběh velikosti jednotlivých výkonových složek od zapnutí až po vypnutí spotřebičů se spínanými napájecími zdroji

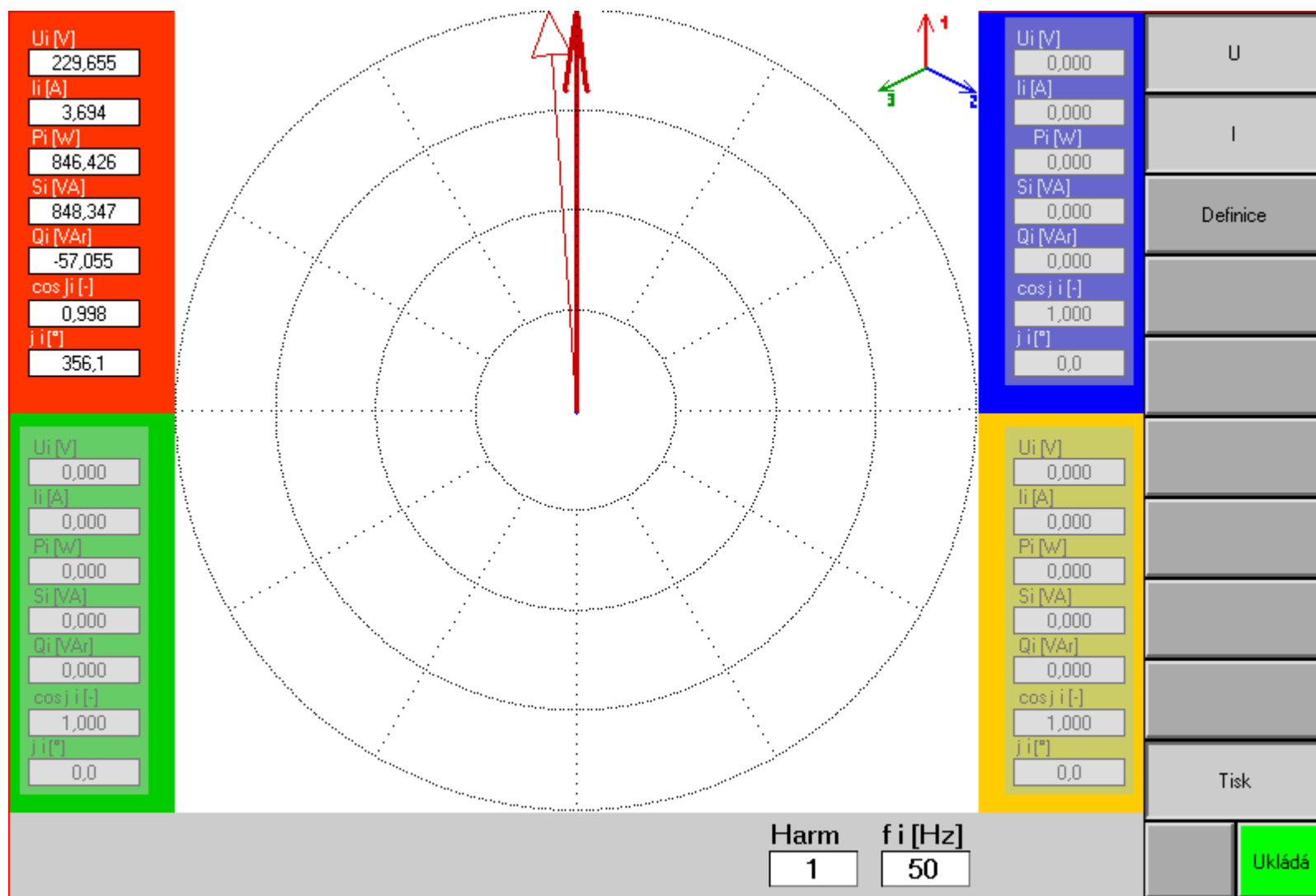




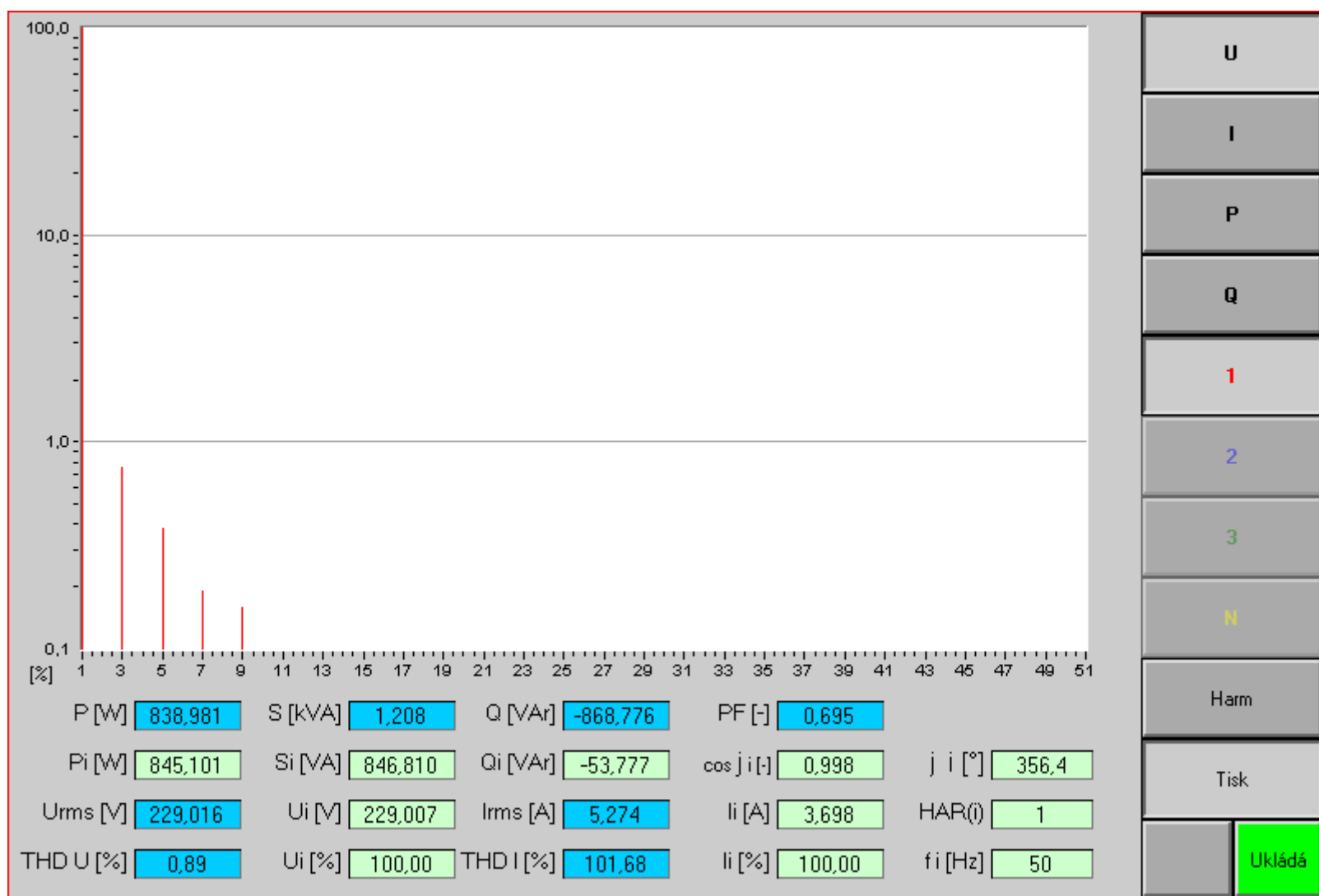
Obr. 10.5 Průběh napětí a proudu u spínaných napájecích zdrojů zachycené digitálním osciloskopem Yokogawa 708 DL



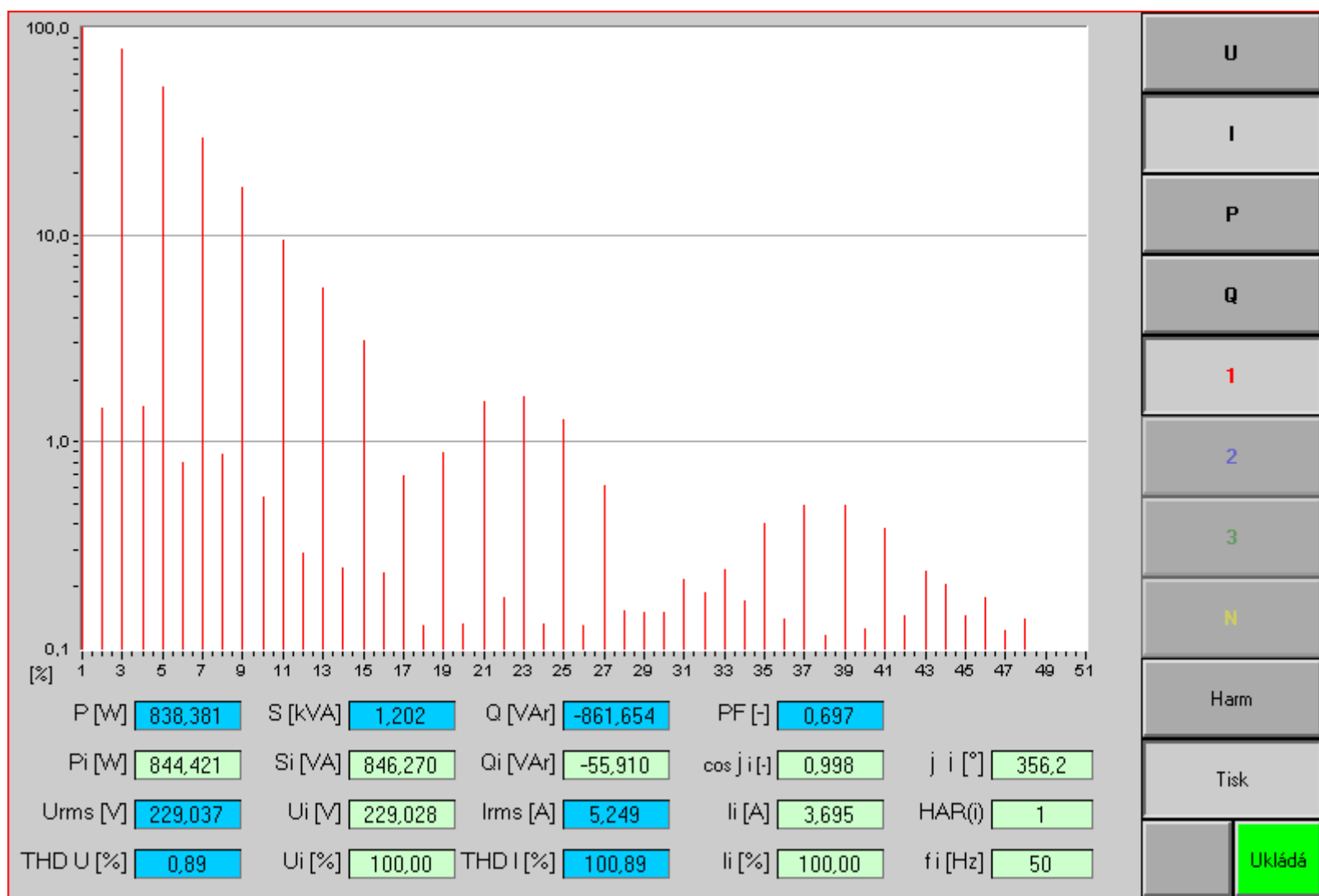
Obr. 10.6 Detail průběhu napětí a proudu u spínaných napájecích zdrojů znázorňující kapacitní charakter zátěže



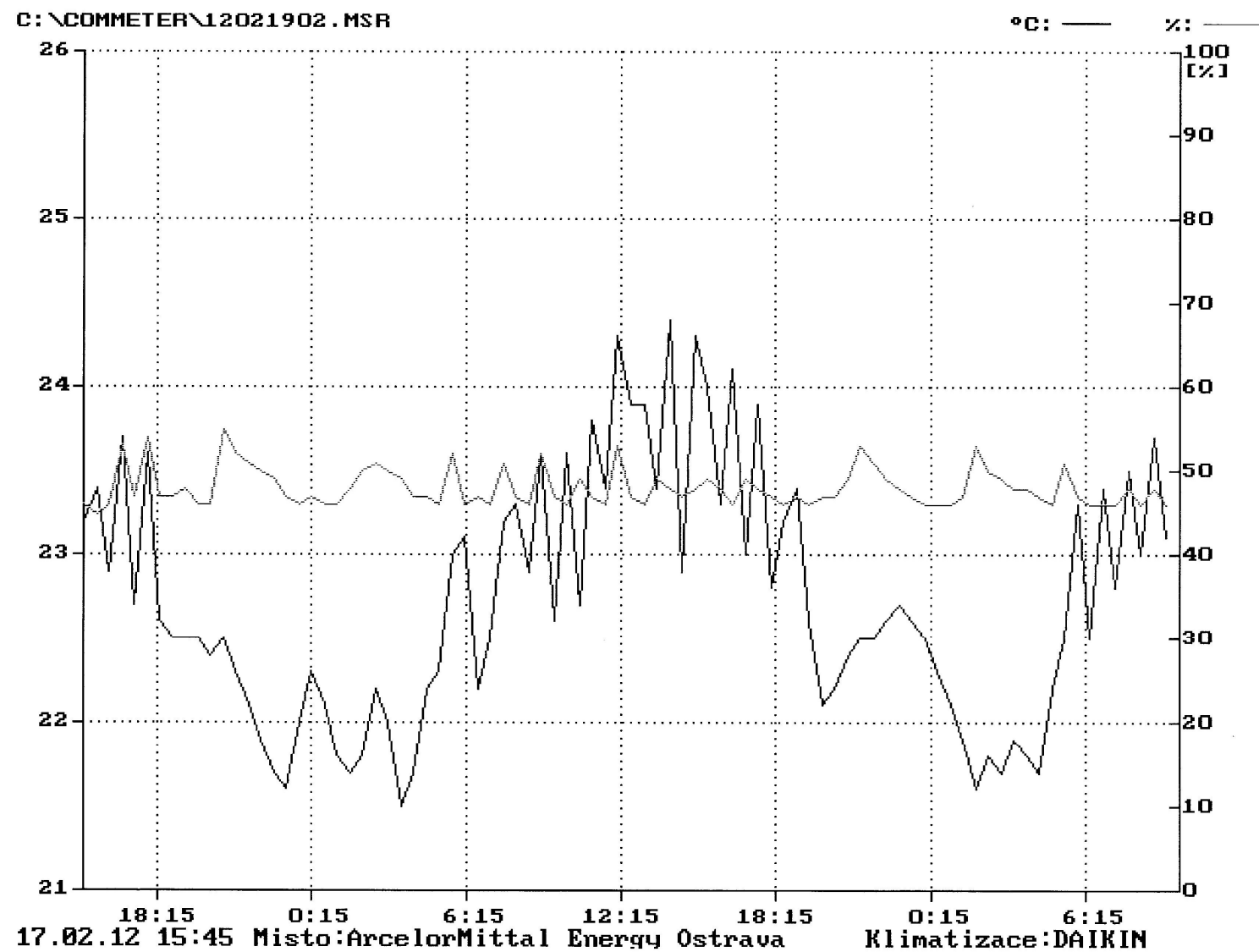
Obr. 10.7 Vektorový diagram fázového posunutí zaznamenané analyzátořem síť BK 330.11



Obr. 10.8 Výskyt harmonických vyšších řádů napětí, zaznamenané analyzátořem sítě BK 330.11



Obr. 10.9 Výskyt harmonických vyšších řádů proudu, zaznamenané analyzátořem sítě BK 330.11



Obr. 10.10 Průběh teploty a vlhkosti v laboratoři při měření

Tab. 10.4 Naměřené hodnoty

Měřidlo: Naměřená data:	BK - ELCOM ENA 330.11	Statický elměr ZMD410 cl. 1	Statický elměr ZMD120 cl. 2	Indukční elměr ET 416 cl. 2
Počáteční stav číselníku [kWh]:	0,000	0,000	0,000	12,145
Koncový stav číselníku [kWh]:	3,051	3,057	3,079	15,195
Rozdíl stavu číselníku [kWh]:	3,051	3,057	3,079	3,050
Absolutní chyba číselníku při měření spotřebičů se spínanými zdroji:	0,00 %	0,197 %	0,918 % <sup>1)</sup>	-0,033 % <sup>2)</sup>
Absolutní chyba číselníku zjištěná při kalibraci, viz. Tab. 10.3:	0,09 % <sup>10)</sup>	-0,09 %	0,55 % <sup>3)</sup>	0,73 % <sup>4)</sup>
Rozdíl absolutní chyby číselníku při spínaných zdrojích a při kalibraci:	-0,09 %	0,287 %	0,368 % <sup>5)</sup>	-0,763 % <sup>7)</sup>
Výsledná absolutní chyba číselníku po odečtení systematické chyby etalonu (BK Elcom – ENA330.11):	0,00 %	0,197 %	0,278 % <sup>6)</sup>	-0,853 % <sup>8)</sup>
Rozdíl absolutních chyb statického a indukčního elměru stejně třídy přesnosti <sup>11)</sup>			$\Delta = 1,131 \% ^{9)}$	

<sup>11)</sup> Vypočítaný rozdíl představuje procentuální zisk distributora elektrické energie, po provedení výměny indukčního elektroměru za elektroměr statický.

Příklady výpočtu:

- Absolutní chyba číselníku při měření spotřebičů se spínanými zdroji:

$$\delta_{zk} = \left( \frac{E_{1zk} - E_{2zk}}{E_{et}} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (10.2)$$

u statického:

$$\delta_{zk1} = \left( \frac{3,079 - 0}{3,051} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{3,079}{3,051} - 1 \right) = \underline{0,917 \%} \quad (10.3)$$

u indukčního:

$$\delta_{zk2} = \left( \frac{15,195 - 12,145}{3,051} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{3,050}{3,051} - 1 \right) = \underline{-0,033 \%} \quad (10.4)$$

- Absolutní chyba číselníku zjištěná při kalibraci, hodnoty převzaty z *Tab. 10.3*:

u statického:

$$\delta_{zk3} = \left( \frac{3,528 - 2,422}{1,1} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,106}{1,1} - 1 \right) = \underline{0,55 \%} \quad (10.5)$$

u indukčního:

$$\delta_{zk4} = \left( \frac{5,553 - 4,445}{1,1} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,108}{1,1} - 1 \right) = \underline{0,73 \%} \quad (10.6)$$

- Rozdíl absolutní chyby číselníku při spínaných zdrojích a při kalibraci:

u statického:

$$\delta_{zk5} = \delta_{zk1} - \delta_{zk3} = 0,918 - 0,55 = \underline{0,368 \%} \quad (10.7)$$

u indukčního:

$$\delta_{zk7} = \delta_{zk2} - \delta_{zk4} = -0,033 - 0,73 = \underline{-0,763 \%} \quad (10.8)$$

- Výsledná absolutní chyba číselníku statického elektroměru cl. 2 po odečtení systematické chyby etalonu (BK Elcom – ENA330.11):

V první části měření, při kalibraci měřidel, byla absolutní chyba analyzátoru sítě naměřena s kladným znaménkem +0,9. Ve druhé části měření, kdy analyzátor sítě zaujímá funkci etalonu, je potřeba tuto jeho chybu chápat jako systematickou, a odečítat ji od naměřených hodnot elektroměrů.

$$\delta_{zk6} = \delta_{zk5} - \delta_{zk10} = 0,368 - 0,09 = \underline{0,278 \%} \quad (10.9)$$

- Výsledná absolutní chyba číselníku indukčního elektroměru cl. 2 po odečtení systematické chyby etalonu (BK Elcom – ENA330.11):

$$\delta_{zk8} = \delta_{zk7} - \delta_{zk10} = -0,763 - 0,09 = \underline{-0,853 \%} \quad (10.10)$$

- Rozdíl absolutních chyb statického a indukčního elektroměru stejné třídy přesnosti cl. 2:

$$\delta_{zk9} = \delta_{zk6} - \delta_{zk8} = 0,278 - (-0,853) = \underline{\underline{1,131 \%}} \quad (10.11)$$



## 11 Stanovení nejistoty měření

Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě. Pojmenování a identifikací chyb ovlivňující naměřené hodnoty se podrobně věnuje již *kap. 7*. Tato kapitola je však věnována všem veličinám, které nejsou exaktně známy a budou chápány jako náhodné veličiny. Týká se to i ovlivňujících veličin, které mohou mít vliv na naměřenou hodnotu.

### 11.1 Základní pojmy

**Nejistota měření** – (výsledku měření) charakterizuje rozsah hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měření veličiny. Nejistota se udává nebo stanoví nejen u výsledku měření, ale i u měřidel, u použitých konstant, u korekcí apod.

**Základem určování nejistot je statistický přístup** – předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje, jak se mohou naměřené hodnoty odchylovat od skutečné hodnoty. Řečeno jinak, s jakou pravděpodobností se v intervalu daném nejistotou může skutečná hodnota nacházet.

**Mírou nejistoty je směrodatná odchylka udávané hodnoty** – (odhad skutečné hodnoty). Takto vyjádřená nejistota se označuje *standardní nejistotou* „ $u$ “ a udává rozsah hodnot „ $-u$ “ a „ $+u$ “ okolo naměřené (stanovené) hodnoty, ve kterém se může s danou pravděpodobností nacházet skutečná hodnota. Standardní nejistoty se dělí na standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B.

**Standardní nejistoty typu A** – jsou způsobovány náhodnými vlivy (příčiny jejich vzniku jsou neznámy). Standardní nejistoty typu A se stanoví z opakovaných měření stejné hodnoty za stále stejných podmínek statistickým přístupem a označují se  $u_A$ . Nejistoty typu A se zmenšují se zvětšujícím se počtem opakovaných měření.

**Standardní nejistoty typu B** – jsou způsobovány známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Označují se  $u_B$ . Jejich určování nebývá jednoduché, u složitějších měřicích zařízení a při zvýšeném nároku na přesnost se musí provést podrobný rozbor vzniku možných chyb a stanovení nejistoty typu B vyžaduje určité odborné znalosti a značné praktické zkušenosti.

Protože se stanovení nejistot typu A i typu B provádí stejným způsobem, je možné skládat standardní nejistoty typu A a typu B. Sumací kvadrátů standardní nejistoty typu A  $u_A$  a standardní nejistoty typu B  $u_B$  se dostane kvadrát *kombinované* standardní nejistoty  $u(y)$ .

**Kombinovaná standardní nejistota  $u$**  – udává interval, rozsah hodnot, ve kterém se s poměrně velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota. Praxe však často žádá ještě větší pravděpodobnost, toho se dosáhne zvětšením intervalu. Proto se zavádí *rozšířená standardní nejistota*  $U$ , která je dána vztahem  $U = k_U \cdot u$ , kde  $k_U$  je koeficient rozšíření nebo pokrytí. Rozšířená nejistota se má používat jenom při udávání výsledku měření a musí být jasně označena včetně velikosti  $k_U$ , ta se volí dvě až tři.

## 11.2 Stanovení standardních nejistot

### 11.2.1 Standardní nejistota typu A

Při přímém měření (nepřímé měření zde nebude uvažováno) se stanoví z  $n$  opakovaných a nezávislých měření stejné hodnoty za stále stejných podmínek. Odhad hodnoty měřené veličiny  $X$  je dán výběrovým průměrem  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  z naměřených hodnot  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . (11.1)

Standardní nejistota typu A je v tomto případě rovna výběrové směrodatné odchylce výběrových průměrů:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11.2)$$

Pokud je počet opakovaných měření menší než 10 a není možné učinit kvalifikovaný odhad na základě zkušeností, bude standardní nejistota typu A vypočítaná z uvedeného vzorce menší a vzniklá chyba se bude zvětšovat se zmenšujícím se počtem měření. Pro demonstraci principu výpočtu standardní nejistoty typu A zde bude provedeno deset nezávislých měření stejné hodnoty. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v *Příloze č. II* a výpočet nejistoty měření je součástí *Přílohy č. III*.

### 11.2.2 Standardní nejistota typu B

Určuje se také na základě pravděpodobnostního počtu, ale jiným postupem než u nejistot typu A (opakovaná měření). Provede se posouzení všech dostupných informací o možných změnách vstupních veličin, o mezních chybách použité techniky a stavu prostředí, ve kterém měření probíhá apod. Z výchozích informací se stanoví možné zdroje nejistoty typu B.

Zdroje nejistot mohou být:

- neúplná definice měřené veličiny,
- údaje výrobců v technické dokumentaci, údaje uváděné v kalibračních listech,
- údaje z dříve provedených měření,
- znalosti a zkušenosti z používání měřicích přístrojů a zařízení,
- nedostatečná znalost všech vlivů na měření
- nepřesné změření referenčních podmínek, v němž měření probíhalo,
- hodnoty konstant a parametrů získané z vnějších zdrojů,
- stabilita použitých měřicích přístrojů,
- různé druhy rušení při procesu měření,
- rozlišitelnost použitých měřicích přístrojů apod.

Správná identifikace všech možných zdrojů nejistot typu B může vést k hodnotě nejistoty stejně spolehlivě jako v případě užití postupu pro stanovení nejistoty typu A. Musí být ale rozlišovány tyto případy:

- a) pokud je pro veličinu  $x_i$  známa pouze jedna hodnota, tzn. jedna naměřená hodnota, výsledná hodnota z předchozího měření, použije se tato hodnota za odhad  $x_i$ . Standardní nejistota  $u(x_i)$  patřící k této hodnotě, musí být převzata ze stejného zdroje,
- b) pokud lze na základě teorie nebo zkušenosti předpokládat pro veličinu  $x_i$  určité pravděpodobnostní rozdělení, je třeba použít za odhad  $x_i$  příslušnou očekávanou hodnotu a za příslušnou standardní nejistotu  $u(x_i)$  odmocninu rozptylu tohoto rozdělení,
- c) pokud lze pro hodnoty veličiny  $x_i$  odhadnout pouze horní a dolní limit  $a_+$  a  $a_-$  (např. údaj výrobce pro měřicí zařízení, rozmezí teplot, zaokrouhlovací chyby), je třeba použít pro popis její variability rovnoměrného rozdělení. Dle výše uvedeného případu (b) lze napsat:

$$x_i = \frac{1}{2}(a_+ + a_-) \quad (11.3)$$

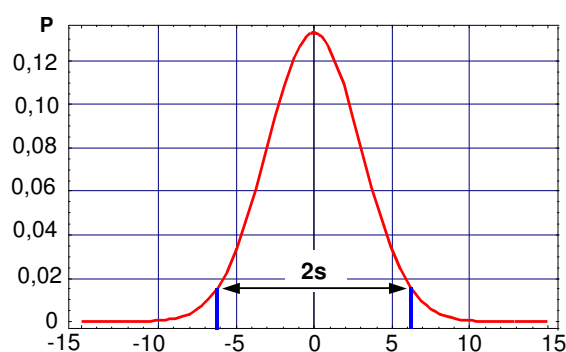
pro odhad rozptylu výběrových průměrů:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12}(a_+ - a_-)^2 \quad (11.4)$$

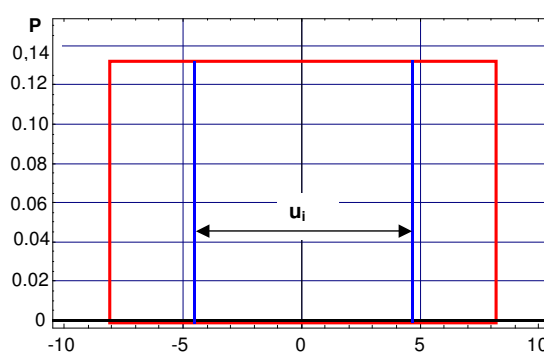
Pokud se rozdíl mezi limitními hodnotami označí jako  $2a$ , lze vztah 10.4 upravit na tvar:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{3}a^2 \quad (11.5)$$

Použití rovnoměrného rozdělení představuje přiměřené statistické vyjádření nedostatečné znalosti vstupní veličiny  $x_i$ , pokud o ní nejsou známy jiné informace, než jsou limity její variability. Pokud je ale známo, že pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu hodnot je vyšší než pravděpodobnost výskytu hodnot v krajích intervalu, může být vhodnější použití trojúhelníkového nebo normálního rozdělení.



Obr. 11.1 Gaussovo normální rozdělení



Obr. 11.2 Rovnoměrné rozdělení

Pro rovnoměrné rozdělení zdrojů nejistot je výběrový rozptyl výběrových průměrů:  $u^2(x_i) = a^2/3$

Pro trojúhelníkové rozdělení zdrojů nejistot je výběrový rozptyl výběrových průměrů:  $u^2(x_i) = a^2/6$

Pro normální rozdělení zdrojů nejistot je výběrový rozptyl výběrových průměrů:  $u^2(x_i) = a^2/9$

Při přímém měření jedné veličiny lze předpokládat, že korelace (vzájemný vztah mezi veličinami) mezi jednotlivými zdroji nejistot typu B jsou zanedbatelné a výsledná standardní nejistota typu B se stanoví z výrazu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u^2(x_i)} \quad (11.6)$$

### 11.2.3 Stanovení kombinované standardní nejistoty

Kombinovaná standardní nejistota výsledku měření je geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B, dána vztahem:

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (11.7)$$

### 11.2.4 Rozšířená nejistota měření

Pro zvýšení pravděpodobnosti výskytu skutečné hodnoty v intervalu tolerance se standardní nejistota rozšiřuje tzv. koeficientem rozšíření  $k_u$ . Pokud má  $k_u$  hodnotu 2 (nejčastěji), můžeme zpravidla (při rovnoměrném rozložení) očekávat, že interval naměřené hodnoty pokrývá skutečnou hodnotu měřené veličiny s pravděpodobností 95 %. Pro  $k = 3$  je pravděpodobnost již 99,9 %.

Je-li výsledek vybaven informací o rozšířené nejistotě, musí být uvedena hodnota koeficientu rozšíření.

Rozšířená nejistota je dána vztahem:  $U = k_U \cdot u$  (11.8)

## 11.3 Příklad výpočtu

V *Příloze č. II* je uveden protokol naměřených hodnot, ze kterého bude proveden výpočet hodnoty nejistoty měření, který je v *Příloze č. III*.

#### a) Výpočet standardní nejistoty typu A

Výpočet je proveden pro zátěžový bod 52 % (5,2 A) zatížení v jedné fázi (fáze X) při účinníku  $\cos \varphi = 1$ . Jako podklady pro výpočet jsou použity naměřené hodnoty 2. elektroměru, tj. statického elektroměru s třídou přesnosti měření cl. 2.

Výpočet aritmetického průměru z naměřených hodnot podle vztahu 11.1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{0,59 + 0,6 + 0,6 + 0,59 + 0,6 + 0,58 + 0,6 + 0,6 + 0,58 + 0,59}{10} = 0,593 \% \quad (11.9)$$

Výpočet odchylky 1. měření. Další výpočty až do desátého měření jsou provedeny analogicky.

$$\Delta i = x_i - \bar{x} = 0,59 - 0,593 = -0,003 \% \quad (11.10)$$

Z toho standardní nejistota typu A:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{\sum \Delta i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(-0,003)^2 + 0,007^2 + 0,007^2 + (-0,003)^2 + 0,007^2 + (-0,013)^2 + 0,007^2 + 0,02^2 + (-0,013)^2 + (-0,003)^2}{10 \cdot 9}} = 0,0026 \% \quad (11.11)$$

b) Výpočet standardní nejistoty typu B

Díličí výpočty jednotlivých příspěvků standardní nejistoty typu B nejsou součástí této práce, protože jsou duševním vlastnictvím Autorizované kalibrační laboratoře s úředním označením K 18.

Pro obecný vztah platí:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u^2(x_j)} \quad (11.12)$$

$u(x_i) = c_i \cdot u(x)$  , protože citlivostní rozložení chyby zde není uvažováno, bude velikost citlivostního koeficientu  $c_i = 1$ .

Zdroje chyb a nejistot:

- $Z_{B1}$  – základní chyba etalonu
- $Z_{B2}$  – nejistota kalibrace etalonového elektroměru
- $Z_{B3}$  – rozličenost napětí na svorkách etalonu a elektroměrů na řadnici
- $Z_{B4}$  – rozlišovací schopnost etalonového elektroměru

$Z_{BX}$  - díličí nejistota příslušného zdroje chyb, která byla stanovena podle dokumentu EA 4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích, kapitoly 3.3 a 4. [7]

#### **$Z_{B1}$ – základní chyba etalonu**

Vychází z třídy přesnosti etalonového elektroměru garantované výrobcem, tj. 0,05 % pro činnou energii a 0,1 % pro energii jalovou.

#### **$Z_{B2}$ – nejistota kalibrace etalonového elektroměru**

Vychází z kalibračního listu od ČMI Brno a je udána jako:

- Nejistoty měření chyb činné energie a výkonu 0,015 % při  $\cos \varphi = 1$  a 0,025 % při  $\cos \varphi = 0,5$ .
- Nejistoty měření chyb jalové energie a výkonu 0,030 % při  $\sin \varphi = 1$  a 0,050 % při  $\sin \varphi = 0,5$ .

### **Z<sub>B3</sub> – rozličnost napětí na svorkách etalonu a elektroměrů na řadnici**

Bylo provedeno měření rozličnosti velikosti napětí v jednotlivých fázích na napěťových svorkách etalonu proti svorkám elektroměrů na všech pozicích řadnice, od prvního elektroměru až po konec řadnice na svorkách příslušné fáze multimetrem – pracovním etalonem. Takto byly naměřeny úbytky napětí. Všechna měření byla provedena ihned po sobě stejným přístrojem a stejnými vodiči za stejných podmínek a zahrnují všechny přechodové odpory. V úvahu je brána nejvyšší naměřená hodnota rozšířená o nejistotu měření (třída přesnosti přístroje a práh rozlišení odečtu). Rozličnost napětí se měří pravidelně při funkční zkoušce stanice nebo při zásahu do příslušenství (např. oprava vodičů apod.). Při napěťovém rozsahu 3 x 230 / 400 V byl naměřen a následně vypočten úbytek 0,00069 %.

### **Z<sub>B4</sub> – rozlišovací schopnost etalonového elektroměru**

Vychází z výrobcem garantovaných údajů v dokumentaci kalibračního zařízení a výpočtu dle TPM 2440-08.

Frekvenční výstup etalonového elektroměru dle údajů výrobce:

Rozsah 0,03.....120A  $\Sigma Cp = 625 \text{ imp./Wh}$

Rozsah 0,003.....12A  $\Sigma Cp = 6250 \text{ imp./Wh}$

Při metodě snímání otáček kotouče resp. impulsů zkoušeného elektroměru je třeba uvážit, že elektrická práce se z definice rovná součinu výkonu a času, po který se měří. Proto se musí stanovit do každého bodu zátěže v průběhu měření daného typu elektroměru takový minimální čas měření v sekundách, aby rozlišovací schopnost etalonového elektroměru, tj. hodnota prvního + posledního impulsu etalonového elektroměru ve vztahu k celkové hodnotě dávky, příliš nezhoršila nejistotu měření. Stanoví se minimální rozlišovací schopnost jednoho pulsu etalonového elektroměru v % z nastavené hodnoty  $Z_{B4} \leq 0,01 \%$  a vypočítá se k této  $Z_B$  příslušné časy pro jednotlivé zkoušky. Vypočítaný minimální čas měření se však ještě musí násobit 2x pro zamezení zkreslení prvního resp. posledního impulsu. Takto vypočítaný minimální čas zkoušky je poté zadán do ovládacího software při definování průběhu měření jednotlivých bodů zátěže. Je-li vypočítaný čas menší než 30 s, zadá se hodnota 30 s.

### **Ostatní chyby**

Protože se kalibrace případně jiná měření provádí v referenčních podmínkách, jsou ostatní zdroje chyb mnohonásobně menší a podstatně by neovlivnily stanovení nejistoty měření. Proto jsou zanedbány.

### **Příklad výpočtu nejistoty typu B při faktoru $\cos \varphi = 1$ podle vztahu 11.6:**

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u^2(x_j)} \quad (11.13)$$

potom:

$$u_B = \sqrt{Z_B 1^2 + Z_B 2^2 + Z_B 3^2 + Z_B 4^2} \quad (11.14)$$

Zdroje chyb a nejistot jsou korigovány odhadem rozdělení pravděpodobnosti podle *kap. 11.2.2* takto:

$$Z_{B1} - \text{Gaussovo rovnoměrné rozdělení, potom } \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,0289 \%$$

$$Z_{B2} - \text{Gaussovo normální rozdělení, potom } \frac{0,015}{2} = 0,0075 \%$$

$$Z_{B3} - \text{Gaussovo rovnoměrné rozdělení, potom } \frac{0,00069}{\sqrt{3}} = 0,0004 \%$$

$$Z_{B4} - \text{Gaussovo rovnoměrné rozdělení, potom } \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,0058 \%$$

Nejistota typu B po dosazení do vztahu:

$$u_B = \sqrt{0,0289^2 + 0,0075^2 + 0,0004^2 + 0,0058^2} \quad (11.15)$$

$$u_B = \underline{0,0304 \%}$$

c) Kombinovaná standardní nejistota

Výpočet kombinované standardní nejistoty podle vztahu 11.7:

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,1408^2 + 0,0304^2} = \underline{0,14404 \%} \quad (11.16)$$

Hodnota 0,1408 použitá ve vztahu, reprezentující standardní nejistotu typu A, je brána z prvního zátěžového bodu třetího elektroměru (viz. *Příloha č. III*), protože právě tento – indukční elektroměr – měl při dané zátěži 5 %  $I_n$  největší rozptyl naměřených hodnot. A ne bezdůvodně, při tak nízkém zatížení se více než při zatíženích vyšších projevují ovlivňující faktory, jako např. tření v ložiscích uchyceného kotoučku. Přesto i při této zkoušce musí elektroměr splňovat požadavky na třídu přesnosti.

d) Rozšířená standardní nejistota

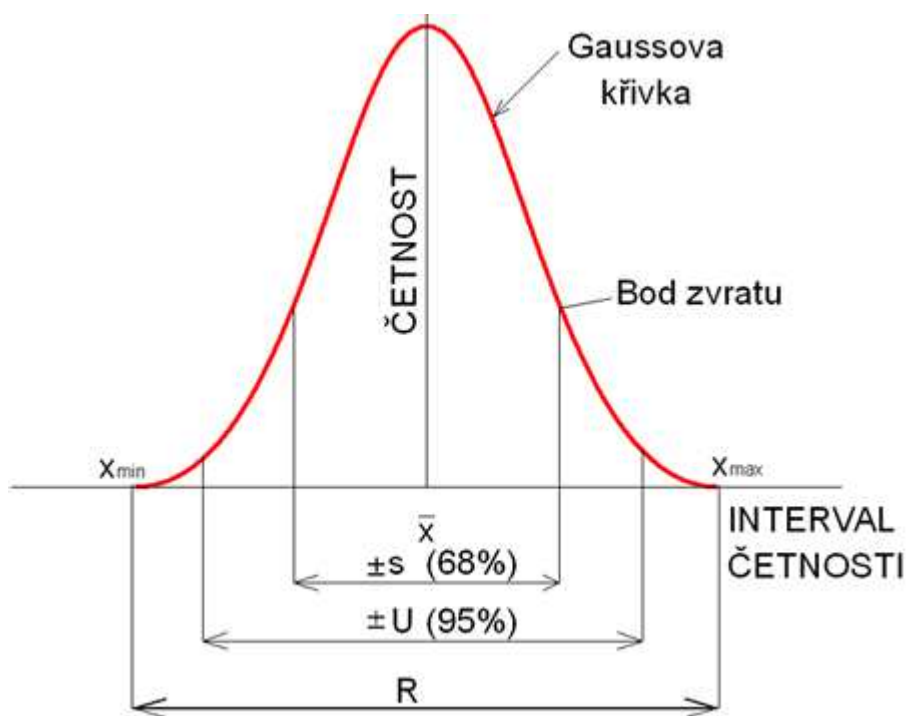
Výpočet rozšířené standardní nejistoty pro  $k = 2$  podle vztahu 11.8:

$$U = k_U \cdot u = 2 \cdot 0,14404 = 0,288088 \equiv \underline{\underline{0,2881 \%}} \quad (11.17)$$

Hodnota koeficientu rozšíření se zvolí pro normálně rozdělené naměřené hodnoty  $k = 2$  a znamená, že 95% výsledků je v tomto rozmezí (což je pro praxi přijatelné).

e) Grafické vyjádření výsledků měření

Gaussova křivka představuje tzv. normální rozdělení výsledků měření. Směrodatná odchylka  $s$  odpovídá standardní nejistotě měření typu A, a ve svém dvojnásobku odpovídá 68 % pravděpodobnosti správného výsledku. Rozšířená nejistota měření odpovídá pak 95 % pravděpodobnosti správného výsledku pro koeficient rozšíření  $k = 2$ . Pro koeficient rozšíření  $k = 3$  odpovídá pak 99,9 % pravděpodobnosti správného výsledku.



Obr. 11.3 Vztah Gaussovy křivky k pravděpodobnosti

$s$  – směrodatná odchylka aritmetického průměru, nebo-li výběrová směrodatná odchylka

$2s$  – rozptyl měření

$R$  – rozsah měření

$x_{min}$  – minimální naměřená hodnota

$x_{max}$  – maximální naměřená hodnota

## 11.4 Vyjádření výsledku měření

Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě. Hodnota měření je vyjádřena ve výpočtu 10. 11 a nejistota ve výpočtu 11. 17.

$$\delta = \delta_{zk9} \pm U = \underline{\underline{1,131 \pm 0,2881 \%}} \quad (11.18)$$



## 12 Závěr

Prakticky všechna moderní elektrická a elektronická zařízení obsahují spínané napájecí zdroje, jež jsou tvořeny vstupním obvodem s jednofázovým dvoucestným usměrňovačem a kapacitním filtrem ve stejnosměrném meziobvodu, nebo mají nějakou jinou formu regulace výkonu, takže představují nelineární zátěž. Lineární zátěže se už vyskytují relativně zřídka, přičemž jako jejich zástupce lze uvést například žárovky a neregulované tepelné ohřevy.

Současné normy sice řeší určitým způsobem působení na harmonické zkreslení vlivem elektronických zařízení, jako jsou zařízení informační technologie (např. počítače), avšak nejsou dostatečné. Je to totiž skupina zařízení, která způsobuje v dnešní době mnoho problémů s harmonickými vyššího řádu (dále jen harmonické) jak v průmyslu, tak i v ostatních odvětvích částečně proto, že je v provozu značné množství těchto zařízení a částečně také proto, že produkují zejména násobky třetí proudové harmonické, které způsobují v energetice mnoho problémů. Z těchto lze jmenovat např. přehřívání transformátorů, přehřívání středního vodiče a kabelů, přehřívání kompenzačních kondenzátorů, nechtěné vypínání vypínačů, rušení telekomunikačních vedení a skinefekt. Jelikož množství těchto zařízení narůstá a bude narůstat, je i přes velmi přísná normativní omezení pravděpodobné, že se harmonické znečištění v elektrizační soustavě bude stále zvětšovat.

Tato práce má ale na uvedenou problematiku jiný úhel pohledu. Zabývá se skutečností, že každé odběrné místo musí být ze zákona měřeno, tzn., že každé odběrné místo musí být mimo jiné vybaveno kalibrovaným případně ověřeným elektroměrem, který je na čelní straně označen nálepkou s dobou platnosti kalibrace a zaplombován na určeném místě plombou s označením laboratoře, která daný elektroměr zkoušela. Protože dnes existují elektroměry měřící elektrickou energii na dvou různých principech (indukční a statický princip), bude zajímavé zjistit, jak se který vypořádá s měřením takových odběrů – spotřebičů, které zatěžují elektrizační soustavu harmonickým zkreslením, mezi něž patří také spotřebiče obsahující spínané napájecí zdroje.

Pro měření odebrané elektrické energie této skupiny spotřebičů byli vybráni zástupci obou principů, tedy jak elektroměr indukční, tak i elektroměr digitální tzv. statický, mající oba pro dobrou srovnatelnost naměřených údajů stejnou třídu přesnosti 2. V první fázi zkoušky prošly všechny zúčastněné elektroměry seřizením a kalibrací, kde seřizení se týká právě indukčního elektroměru, poněvadž statické elektroměry neobsahují žádné regulační prvky k jejich doladění. Přesto se i u nich kalibrace provádí pro zjištění chyb, resp. zda svými naměřenými hodnotami vyhovují třídě přesnosti, pro kterou byly vyrobeny. Pokládám za nutné zdůraznit, že kalibrace probíhá při generování pouze základní harmonické napětí a proudu. Této zkoušky se také účastní analyzátor sítě BK 330.11 firmy Elcom (třída přesnosti 1), u kterého je ale zjišťována jen absolutní chyba číselníku. Zdrojem elektrické energie, kterou zaznamenávaly elektroměry a analyzátor sítě byla stacionární zkušební stanice s třídou přesnosti 0,05 a platným kalibračním listem, navázaná na nadřazený státní etalon elektrického výkonu a práce ČR ČMI Brno. Absolutní chyby číselníků, které byly u měřidel zjištěny, jsou následující: u analyzátoru sítě 0,09 %, u statického elektroměru 0,55 %, u indukčního elektroměru 0,73 %, vše při jednofázovém zatížení 5,2 A, 230 V a  $\cos \varphi = 0,998c$ . Uvedené chyby mají kladné znaménko. Kompletní naměřené hodnoty této zkoušky včetně systémových chyb u elektroměrů, jsou uvedené v *Tab. 10.3* a v protokolu o zkoušce, který je součástí *Přílohy č. I*.

Druhá fáze zkoušky se zabývá měřením odebrané elektrické energie spotřebičů vybavených spínanými napájecími zdroji, jejichž soupis je v *Tab. 10. 2*. Jejich spotřebu změří stejné elektroměry, které byly kalibrovány v první fázi zkoušky. Novou úlohu ale zaujme analyzátor sítě BK 330.11, který

přebírá pro tuto zkoušku roli etalonu, kdy naměřené hodnoty na číselníku u statického a indukčního elektroměru lze porovnat s naměřenými údaji analyzátozem sítě. Výhodou při porovnávání naměřených hodnot je skutečnost, že při předchozí kalibraci těchto měřidel byla zjištěna absolutní chyba jejich číselníků. Jsou-li u zúčastněných měřidel známy absolutní chyby číselníků při kalibraci a při měření spotřebičů se spínanými napájecími zdroji, lze také numericky vyjádřit velikost chyby měření, která je při dodržení stejného proudového zatížení (5,2 A), stejné velikosti napětí (230 V) a  $\cos \varphi = 0,998c$ , závislá na přítomnosti nebo nepřítomnosti generovaných harmonických. Řečeno jinými slovy, elektroměry obou zástupců principů měření zaznamenají jinou velikost odebrané energie při výskytu pouze základní harmonické napětí a proudu, a jinou při výskytu harmonického zkreslení, jaké způsobuje činnost spínaných zdrojů. Dobu, průběh, velikost a charakter zátěže vykreslují grafy na *Obr. 10.4 až Obr. 10.9*. Z nich je zřejmé, že spínané napájecí zdroje spotřebičů mají kapacitní charakter. Je potřeba si ale uvědomit, s jakou velikostí, resp. s jak velkým úhlem účinníku měření probíhá. Tvar vlny, který zachytil digitální osciloskop Yokogawa 708 DL na *Obr. 10.5 a Obr. 10.6* ukazuje, že fázový posun mezi napětím a proudem základní harmonické je roven prakticky nule:  $\cos \varphi = 0,998c$ ; tedy že vrcholová hodnota těchto průběhů je dosažena téměř ve stejném okamžiku, zatímco skutečný účinník PF vypočítávan analyzátozem sítě BK 330.11 je vypočten jako  $\lambda = 0,697$ , jak ukazuje *Obr. 10.9*. Tento vypočítaný skutečný účinník PF dokazuje přítomnost harmonických vyššího řádu napětí a proudu, které jsou také zachyceny na *Obr. 10.8 a Obr. 10.9*.

Ucelené výsledky měření jsou uvedeny v *Tab. 10. 4* a příslušné výpočty jsou provedeny na *str. 63 a str. 64*. Z nich vyplývá, jak přítomnost nebo nepřítomnost harmonických vyšších řádů v síti ovlivní měření odebrané energie elektroměrů co do velikosti. U statického elektroměru třídy přesnosti 2 byla zjištěna při kalibraci absolutní chyba číselníku 0,55 %, a při měření zátěže se spínanými napájecími zdroji byla naměřena tato chyba 0,918 %. Vlivem přítomnosti harmonických tedy došlo k nárůstu o 0,368 %. Co se týká způsobilosti pro montáž k fakturaci odběratelů, elektroměr s přehledem vyhovuje třídě přesnosti a může být pro tyto účely použit. U indukčního elektroměru třídy přesnosti 2 je situace jiná. Při kalibraci u něj byla naměřena absolutní chyba 0,73 % a při měření zátěže se spínanými napájecími zdroji byla naměřena tato chyba –0,033 %. Zde tedy došlo vlivem přítomnosti harmonických k poklesu naměřené energie o –0,763 %! Nicméně elektroměr také stále vyhovuje třídě přesnosti a může být použit pro fakturační měření. Pro korektnost měření ještě zbývá od uvedeného výsledku odečíst absolutní chybu etalonu (BK 330.11) 0,09 % zjištěnou při kalibraci, protože tato dostala ve druhé fázi měření s přítomností harmonických charakter systematické chyby etalonu (BK 330.11). Odečte-li se hodnota 0,09 % od hodnoty 0,368 %, bude výsledný nárůst naměřené energie u statického elektroměru 0,278 %. Naopak, odečte-li se hodnota 0,09 od hodnoty –0,763, bude pokles naměřené energie u indukčního elektroměru o –0,853 %.

Rozhodne-li se distributor elektrické energie k výměně indukčních elektroměrů za statické, zbaví se tak pro něj nepříjemného faktu menší naměřené elektrické energie indukčními elektroměry. Ekonomický efekt výměny bude potom následující:  $0,278 - (-0,853) = 1,131$  % naměřené energie „navíc“. Protože součástí práce je v *kap. 11* také výpočet nejistoty měření, je nutné uvést k naměřené chybě i velikost této nejistoty. Celkový ekonomický přínos distributorovi elektrické energie provedením výměny indukčních elektroměrů za elektroměry statické je  $1,131 \pm 0,2881$  %! zaznamenané energie „navíc“. A návratnost investice do statických elektroměrů? Vzhledem k tomu, že každé odběrné místo je v současnosti zatíženo harmonickými všude přítomnými spínanými napájecími zdroji, bude při objemu dodávané elektrické energie distributorem (TWh) tato investice jistě dobrou finanční operací.

## 13 Použitá literatura

- [1] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii, 2. vydání, 1993
- [2] BIPM: Mezinárodní soustava jednotek, 7. vydání, 1998
- [3] Technický předpis metrologický TPM 2440-08, ČMI Brno, 2008
- [4] Metrology in short, 3rd edition“, EURAMET e. V, 2009
- [5] Nařízení vlády 473/2009 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky, 2009
- [6] Zákon 458/2000 Sb. ze dne 28. listopadu 2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích, ČNI 2000
- [7] Dokument EA 4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích, CIA o.p.s, 2000
- [8] DRHOLEC Jiří: *Vliv nereferenčních podmínek na přesnost statických a indukčních elektroměrů*. Ostrava, 2010. Bakalářská práce na VŠB-TU Ostrava na katedře elektrotechniky a informatiky. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vladimír Král, Ph.D.
- [9] MACHÁČEK Cyril: *Elektroměry – technika a praxe*. Brno: Tiskové podniky Rovnost, 1946
- [10] Katalog fy Křížík: Jednofázové elektromechanické elektroměry, dostupné z:  
<http://www.elektromery.com/soubory/EJsl.pdf>
- [11] Typy produktů fy Landis + Gyr, dostupné z:  
[http://www.landisgyr.com/cz/cz/pub/produkty\\_a\\_eeni.cfm](http://www.landisgyr.com/cz/cz/pub/produkty_a_eeni.cfm)

## 14 Seznam příloh

Příloha č. I - Protokol naměřených hodnot při kalibraci měřidel

Příloha č. II - Protokol naměřených hodnot elektroměrů pro výpočet nejistoty měření

Příloha č. III - Výpočet nejistoty měření

Příloha č. IV - Certifikát způsobilosti metrologa II. kvalifikačního stupně

Příloha č. V - Autorizace metrologického střediska

Příloha č. I – Protokol naměřených hodnot při kalibraci měřidel

**Záznam prvotních namerených hodnot elektromerů  
metodou snímání otáček (impulsu)**

Vystaven dne : 14-03-2012  
Zadavatel zkoušky : Bc. JIRI DRHOLEC

**LABORATOR:**  
ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o.  
Autorizované metrologické středisko K18  
Vratimovská 689,  
707 02 OSTRAVA - Kuncice

**Použitý etalon:**  
Etalonový elektromer: Typ ENZ 121.3, cl. 0,05, vc. 17433, m.c. 990044, výrobce-EMH.  
Poslední kalibrace: CMI Brno, Okružní 31, dne 20.5.2011 platí do 19.5.2012.  
Stanice na zkoušení elektromerů: Typ MTE-S10.10, m.c. 990389, výrobce-MTE.  
Poslední funkční zkouška: CMI Brno, Okružní 31, dne 1.6.2011 platí do 31.5.2012.  
Použitý etalon má metrolog. návaznost na státní etalon el. výkonu a práce CR c. BCM220-1/03-025.

**Metoda měření:** přímé měření kalibračním elektromerem impulsní metodou.

**Podmínky měření:** Teplota v laboratoru 23±2°C, relativní vlhkost 60±15%

Meridlo	An. síte	Staticky	Staticky	Indukční
Typ	BK-ENA330	ZMD410CT	ZMD120AR	ET 416-2
Výrobní číslo	EVIP080147	84293605	90146987	6232760
Napětí Y / D	3x230/400V	3x230/400V	3x230/400V	3x230/400V
Kmitočet	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Proud In / I <sub>max</sub>	10/12 A	5/6 A	5/100A	10/60 A
Trída přesnosti	1	1	2	2
Pocet imp./kWh	nemá	10000	10000	120
Ur. značka schválení	nemá	TCM221/01-3509	TCM221/98-2987	CS2212/77-287
Rok výroby	2008	2005	2008	1993

**Namerené hodnoty :**

**Chod naprázdno:** Zatížení [%Un] Výsledek:  
110.0 + + + +  
80.00 + + + +

**Nábeh:** Zatížení [%In] Výsledek:  
+0.5 + + + +

Dílčí hodnocení: vyhovel trídě přesnosti....+  
nevyhovel trídě přesnosti...-

**Chyby systému namerené při jednotlivých zátěžích:**

Zátěžový bod:	chyba	chyba	chyba	chyba
+ 5%In L123 cos 1 :	-----	-0.00 %	0.47 %	-0.14 %
+10%In L123 cos 1 :	-----	0.01 %	0.41 %	-1.01 %
+25%In L1 cos 1 :	-----	-0.05 %	0.65 %	0.68 %
+52%In L1-- cos 1 :	-----	-0.01 %	0.65 %	0.38 %
+52%In L123 cos 1 :	-----	0.00 %	0.53 %	-0.84 %
+52%In L123 cos0,5i:	-----	0.02 %	0.79 %	-1.76 %
+52%In L1 cos0.998c:	-----	-0.02 %	0.60 %	0.52 %
+52%In L1 cos0.9975c	-----	-0.00 %	0.64 %	0.50 %
+52%In L1 cos0.997c:	-----	-0.00 %	0.61 %	0.50 %

**Chyby číselníku měrené při 5,2A a fázovém posunu cosφ = 0,998 kapacitní:**

	Číselník:	Číselník:	Číselník:	Číselník:
Poc.stav :	00001.130	00004.872	00002.422	00004.445
Konec.stav:	00002.231	00005.971	00003.528	00005.553
Rel.chyba :	----	-0.06 %	-0.09 %	0.13 %
Sys.chyba :	----	-0.03 %	0.64 %	0.60 %
Abs.chyba :	0.09 %	-0.09 %	0.55 %	0.73 %

<b>Datum příjmu elmeru:</b>	15-02-2012	06-02-2012	06-02-2012	06-02-2012
<b>Datum měření :</b>	17-02-2012	17-02-2012	17-02-2012	17-02-2012
<b>Měření provedl :</b>	Bc.DRHOLEC	Bc.DRHOLEC	Bc.DRHOLEC	Bc.DRHOLEC

**Prohlášení:** Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených predmetu. Tento dokument nemůže být bez písemného schválení laboratore, která ho vydala, rozmnožován jinak než celý.

Příloha č. II – Protokol naměřených hodnot elektroměrů pro výpočet nejistoty měření

**Záznam prvotních namerených hodnot elektroměru  
pro stanovení nejistoty měření metodou snímání otáček (impulsu)**

Vystaven dne : 14-03-2012  
Zadavatel zkousky : Bc. JIRI DRHOLEC

**LABORATOR:**  
ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o.  
Autorizované metrologické středisko K18  
Vratimovská 689,  
707 02 OSTRAVA - Kuncice

**Použitý etalon:**  
Etalonový elektroměr: Typ ENZ 121.3, cl.0,05, vc.17433, m.c.990044, výrobce-EMH.  
Poslední kalibrace: CMI Brno, Okružní 31, dne 20.5.2011 platí do 19.5.2012.  
Stanice na zkousení elektroměru: Typ MTE-S10.10, m.c.990389, výrobce-MTE.  
Poslední funkční zkouska: CMI Brno, Okružní 31, dne 1.6.2011 platí do 31.5.2012.  
Použitý etalon má metrolog.návaznost na státní etalon el.vykonu a práce CR c.ECM220-1/03-025.

**Metoda měření:** přímé měření kalibračním elektroměrem impulsní metodou.

**Podmínky měření:** Teplota v laboratoru 23±2°C, relativní vlhkost 60±15%

<b>Meridlo</b>	:	<b>Staticky</b>	<b>Staticky</b>	<b>Indukční</b>
Typ	:	ZMD410CT	ZMD120AR	ET 416-2
Vyrobní číslo	:	84293605	90146987	6232760
Napětí Y / D	:	3x230/400V	3x230/400V	3x230/400V
Kmitocet	:	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Proud In / Imax	:	5/6 A	5/100A	10/60 A
Trída přesnosti	:	1	2	2
Pocet imp./kWh	:	10000	10000	120
Ur.znacka schválení:	:	TCM221/01-3509	TCM221/98-2987	CS2212/77-287
Rok výroby	:	2005	2008	1993

**Namerené hodnoty :**

**Chyby systému namerené při jednotlivých zátěžích:**

<b>Zátěžový bod:</b>	<b>chyba</b>	<b>chyba</b>	<b>chyba</b>
+ 5%In L123 cos 1 :	-0.00 %	0.53 %	0.17 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.47 %	-0.05 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.00 %	0.55 %	-0.16 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.02 %	0.53 %	-0.20 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.02 %	0.51 %	-0.27 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.49 %	-0.20 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.00 %	0.50 %	-0.12 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.54 %	0.40 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.02 %	0.47 %	0.02 %
+ 5%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.51 %	-0.23 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.42 %	-0.96 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.39 %	-0.87 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.39 %	-0.86 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.39 %	-0.86 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.36 %	-0.88 %
+10%In L123 cos 1 :	0.01 %	0.40 %	-0.92 %
+10%In L123 cos 1 :	0.02 %	0.37 %	-0.86 %
+10%In L123 cos 1 :	0.00 %	0.41 %	-0.89 %
+10%In L123 cos 1 :	0.02 %	0.36 %	-0.94 %
+10%In L123 cos 1 :	0.00 %	0.37 %	-0.87 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.04 %	0.62 %	0.69 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.04 %	0.65 %	0.69 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.61 %	0.69 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.61 %	0.65 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.00 %	0.57 %	0.63 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.59 %	0.65 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.03 %	0.62 %	0.68 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.03 %	0.61 %	0.64 %
+25%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.57 %	0.66 %
+25%In L1-- cos 1 :	0.00 %	0.60 %	0.65 %



+52%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.59 %	0.36 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.60 %	0.39 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.60 %	0.40 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.59 %	0.37 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.60 %	0.36 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.58 %	0.39 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.60 %	0.36 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.60 %	0.40 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.01 %	0.58 %	0.37 %
+52%In L1-- cos 1 :	-0.02 %	0.59 %	0.36 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.02 %	0.59 %	0.43 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.00 %	0.57 %	0.38 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.01 %	0.61 %	0.37 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.01 %	0.61 %	0.38 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.00 %	0.59 %	0.39 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.01 %	0.60 %	0.41 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.02 %	0.58 %	0.38 %
+52%In L1 cos0.998c:	0.00 %	0.61 %	0.39 %
+52%In L1 cos0.998c:	-0.01 %	0.60 %	0.41 %
+52%In L1 cos0.998c:	0.00 %	0.57 %	0.38 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.03 %	0.59 %	0.44 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.01 %	0.61 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.01 %	0.59 %	0.44 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.02 %	0.59 %	0.44 %
+52%In L1 cos0.9975c	0.00 %	0.63 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.02 %	0.61 %	0.43 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.03 %	0.63 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.01 %	0.60 %	0.44 %
+52%In L1 cos0.9975c	0.00 %	0.59 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.9975c	-0.01 %	0.61 %	0.43 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.62 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.61 %	0.40 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.58 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.60 %	0.43 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.60 %	0.45 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.02 %	0.62 %	0.41 %
+52%In L1 cos0.997c:	0.00 %	0.60 %	0.44 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.01 %	0.58 %	0.40 %
+52%In L1 cos0.997c:	-0.02 %	0.61 %	0.42 %
+52%In L1 cos0.997c:	0.00 %	0.59 %	0.44 %

<b>Datum příjmu elmeru:</b>	06-02-2012	06-02-2012	06-02-2012
<b>Datum měření :</b>	18-02-2012	18-02-2012	18-02-2012
<b>Měření provedl :</b>	Bc.DRHOLEC	Bc.DRHOLEC	Bc.DRHOLEC

**Prohlášení:** Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených predmetu. Tento dokument nemůže být bez písemného schválení laboratore, která ho vydala, rozmnožován jinak než celý.

# Stanovení nejistot při měření elektroměrů

Specifikace typů měřených přístrojů:

	Úřední vzor	Výrobce	Výroční číslo	Napětí	Proud	Třída přesnosti	Rok výroby
1. elektroměr	ZMD410CT21.0000S2	Landis + Gyr	84293605	3x230/400 V	x/5 A (5/5 A)	1	2005
2. elektroměr	ZMD120AR44.1100c.4	Landis + Gyr	90146987	3x230/400 V	5 (100) A	2	2008
3. elektroměr	ET 416-2	ZPA Prešov	6232760	3x230/400 V	10 - 60 A	2	1993

Zadání dat: Provedl: Bc. Jiří Drholec  
Datum: 2.3.2012

## Tabulky pro výpočet nejistoty měření:

5%L123				1.elměr	2.elměr	3.elměr
Zátěž v % $I_n$	5,0	1. měření	0,00	0,53	0,17	
Poč.zk.syst.	3	2. měření	0,01	0,47	-0,05	
Faktor $\cos\varphi$	1,0	3. měření	0,00	0,55	-0,16	
		4. měření	0,02	0,53	-0,20	
		5. měření	0,02	0,51	-0,27	
		6. měření	0,01	0,49	-0,20	
		7. měření	0,00	0,50	-0,12	
		8. měření	0,01	0,54	0,40	
		9. měření	0,02	0,47	0,02	
		10. měření	0,01	0,51	-0,23	
Min.čas zk.	960 sec.	x - param.	0,0100	0,5100	-0,0640	
		$u_A$	0,0026	0,0187	0,1408	
Nejistota typu A: $\pm 0,1408\%$						
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): $\pm 0,288\%$						

10%L123				1.elměr	2.elměr	3.elměr
Zátěž v % I <sub>n</sub>	10,0	1. měření	0,01	0,42	-0,96	
Poč.zk.syst.	3	2. měření	0,01	0,39	-0,87	
Faktor cosφ	1,0	3. měření	0,01	0,39	-0,86	
		4. měření	0,01	0,39	-0,86	
		5. měření	0,01	0,36	-0,88	
		6. měření	0,01	0,40	-0,92	
		7. měření	0,02	0,37	-0,86	
		8. měření	0,00	0,41	-0,89	
		9. měření	0,02	0,36	-0,94	
		10. měření	0,00	0,37	-0,87	
Min.čas zk.	500 sec.	x - param.	0,0100	0,3860	-0,8910	
		u <sub>A</sub>	0,0021	0,0065	0,0115	
Nejistota typu A: ± 0,0115%						
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): ± 0,065%						



25%L1--			1. elměr	2. elměr	3. elměr	
Zátěž v % $I_n$	25,0		1. měření	-0,04	0,62	0,69
Poč.zk.syst.	1		2. měření	-0,04	0,65	0,69
Faktor cosφ	1,0		3. měření	-0,01	0,61	0,69
			4. měření	-0,01	0,61	0,65
			5. měření	0,00	0,57	0,63
			6. měření	-0,01	0,59	0,65
			7. měření	-0,03	0,62	0,68
			8. měření	-0,03	0,61	0,64
			9. měření	-0,02	0,57	0,66
			10. měření	0,00	0,60	0,65
Min.čas zk.	300	sec.	x - param.	-0,0190	0,6050	0,6630
			$u_A$	0,0048	0,0076	0,0072
Nejistota typu A: $\pm 0,0076\%$						
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): $\pm 0,063\%$						

52%L1--			1. elměr	2. elměr	3. elměr	$\Delta i = x_i - \bar{x}$	
Zátěž v % $I_n$	52,0		1. měření	-0,01	0,59	0,36	-0,003
Poč.zk.syst.	1		2. měření	-0,02	0,60	0,39	0,007
Faktor cosφ	1,0		3. měření	-0,02	0,60	0,40	0,007
			4. měření	-0,01	0,59	0,37	-0,003
			5. měření	-0,02	0,60	0,36	0,007
			6. měření	-0,01	0,58	0,39	-0,013
			7. měření	-0,02	0,60	0,36	0,007
			8. měření	-0,02	0,60	0,40	0,020
			9. měření	-0,01	0,58	0,37	-0,013
			10. měření	-0,02	0,59	0,36	-0,003
Min.čas zk.	200	sec.	x - param.	-0,0160	0,5930	0,3760	
			$u_A$	0,0016	0,0026	0,0054	
Nejistota typu A: $\pm 0,0054\%$							
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): $\pm 0,062\%$							

52%L1--			1.elměr	2.elměr	3.elměr	
Zátěž v % $I_n$	52,0		1. měření	-0,02	0,59	0,43
Poč.zk.syst.	1		2. měření	0,00	0,57	0,38
Faktor cosφ	0,998c		3. měření	-0,01	0,61	0,37
			4. měření	-0,01	0,61	0,38
			5. měření	0,00	0,59	0,39
			6. měření	-0,01	0,60	0,41
			7. měření	-0,02	0,58	0,38
			8. měření	0,00	0,61	0,39
			9. měření	-0,01	0,60	0,41
			10. měření	0,00	0,57	0,38
Min.čas zk.	200	sec.	x - param.	-0,0080	0,5930	0,3920
			$u_A$	0,0025	0,0050	0,0059
Nejistota typu A: $\pm 0,0059\%$						
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): $\pm 0,062\%$						

52%L1--			1.elměr	2.elměr	3.elměr
Zátěž v % $I_n$	52,0	1. měření	-0,03	0,59	0,44
Poč.zk.syst.	1	2. měření	-0,01	0,61	0,42
Faktor cos φ	0,9975c	3. měření	-0,01	0,59	0,44
		4. měření	-0,02	0,59	0,44
		5. měření	0,00	0,63	0,42
		6. měření	-0,02	0,61	0,43
		7. měření	-0,03	0,63	0,42
		8. měření	-0,01	0,60	0,44
		9. měření	0,00	0,59	0,42
		10. měření	-0,01	0,61	0,43
Min.čas zk.	200	x - param.	-0,0140	0,6050	0,4300
	sec.	$u_A$	0,0034	0,0050	0,0030
Nejistota typu A: ± 0,0050%					
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): ± 0,062%					

52%L1--			1.elměr	2.elměr	3.elměr
Zátěž v % $I_n$	52,0	1. měření	-0,01	0,62	0,42
Poč.zk.syst.	1	2. měření	-0,01	0,61	0,40
Faktor cos $\varphi$	0,997c	3. měření	-0,01	0,58	0,42
		4. měření	-0,01	0,60	0,43
		5. měření	-0,01	0,60	0,45
		6. měření	-0,02	0,62	0,41
		7. měření	0,00	0,60	0,44
		8. měření	-0,01	0,58	0,40
		9. měření	-0,02	0,61	0,42
		10. měření	0,00	0,59	0,44
Min.čas zk.	200 sec.	x - param.	-0,0100	0,6010	0,4230
		$u_A$	0,0021	0,0046	0,0054
Nejistota typu A: $\pm 0,0054\%$					
Rozšířená kombinovaná standardní nejistota (pro K = 2): $\pm 0,062\%$					

Tabulka nejistot typu A při různých zátěžích:

Zátěž:	5%L123	10%L123	25%L1--	52%L1--	52%L1--	52%L1--	52%L1--
Faktor $\cos \varphi$	1,0	1,0	1,0	1,0	0,998c	0,9975c	0,997c
Nejistota	0,1408%	0,0115%	0,0076%	0,0054%	0,0059%	0,0050%	0,0054%

### Nejistota typu B:

Výpočet pro cejch.stůl při faktoru = 1

$Z_{B1}$  - základní chyba etalonového elektroměru pro  $P = \pm 0,050\%$

$Z_{B2}$  - nejistota kalibrace etalon. elměru pro  $k = 2$  pro  $P = \pm 0,015\%$

$Z_{B3}$  - rozlišnost napětí na svorkách etalonu a elměru na řadnici  $\pm 0,00069\%$

$Z_{B4}$  - rozlišovací schopnost etalonového elekteroměru  $\pm 0,010\%$

Ostatní zdroje nejistot jsou zanedbávány, protože jsou při kalibracích dodržovány referenční podmínky.

zdroj nejistot	Zákl.chyba	Odhad rozdělení		Nejistota $u_{sj}$	Citliv.koef.	$U_{sj}$
	$z_{jmax}$	rozdělení	koeficient			
$Z_{B1}$	0,0500%	rovnoměrné	1,73	0,0289%	1,00	0,0289%
$Z_{B2}$	0,0150%	normální	2,00	0,0075%	1,00	0,0075%
$Z_{B3}$	0,0007%	rovnoměrné	1,73	0,0004%	1,00	0,0004%
$Z_{B4}$	0,0100%	rovnoměrné	1,73	0,0058%	1,00	0,0058%

Celková standardní nejistota typu B :  $u_B = 0,0304\%$

### Vyhodnocení :

Výběr maximální standardní nejistoty typu A ze všech zátěžových bodů $u_A =$	$\pm 0,1408\%$
Výběr maximální standardní nejistoty typu B ze všech zátěžových bodů $u_B =$	$\pm 0,0304\%$
Rozšířená kombinovaná maximální nejistota: (pro K = 2) $u =$	$\pm 0,2881\%$

Příloha č. IV – certifikát způsobilosti metrologa II. kvalifikačního stupně

		<b>Česká metrologická společnost</b> Certifikační místo pro certifikaci způsobilosti pracovníků pro metrologickou a zkušební činnost 116 68 Praha 1, Novotného lávka 5
Certifikační místo pro certifikaci způsobilosti pracovníků pro metrologickou a zkušební činnost akreditované Českým institutem pro akreditaci o.p.s. jako certifikační orgán č. 3008		
vydává		
<b>CERTIFIKÁT ZPŮSOBILOSTI</b>		
evid. č.975/2008		
pro výkon funkce v kvalifikační úrovni <b>metrolog II. kvalifikačního stupně</b>		
v oboru:	elektrické veličiny	
nositel	<b>Jiří DRHOLEC</b>	
<p>Certifikát způsobilosti je vydáván na základě posouzení žadatele v písemné, odborné a praktické části zkoušky podle příručky jakosti č.j. CM 294/07, splňující akreditační kritéria podle ČSN EN ISO/IEC 17024:2003, a v souladu s požadavky podle č.j. CM 295/07, část 2.</p> <p>Certifikační místo může na základě kontroly, při zjištění porušování povinností nositele certifikátu nebo pravidel používání certifikátu, platnost certifikátu pozastavit, omezit, případně certifikát odejmout.</p> <p>Certifikát způsobilosti nabývá platnosti dnem vydání a končí dnem 31. prosince 2013.</p>		
V Praze dne 19. prosince 2008		 Prof. Ing. Jindřich Vítovec, DrSc. vedoucí CM

© TISK VICTORIA SECURITY PRINTING s.a.s. PRAHA



ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII  
A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ

Č.j. 3112/07/02 V Praze 2. listopadu 2007



**ROZHODNUTÍ**

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví podle § 13 odst. 1 písm. c) a § 16 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, (dále jen „zákon“) ve správním řízení rozhodl takto :

Žadatel  
ArcelorMittal Ostrava a.s.  
Ostrava, Kunčice, Vratimovská 689, PSČ 707 02  
IČ : 45193258

se uděluje

**A U T O R I Z A C E**

pro ověřování stanovených měřidel v rozsahu uvedeném v příloze k tomuto rozhodnutí. Žadatel se ponechává úřední značka K s evidenčním číslem 18, na jejíž použití se vztahují § 9 a § 16 zákona a § 6 vyhlášky č. 262/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Podmínky autorizace, obsahující základní požadavky a povinnosti, které je autorizované metrologické středisko povinno při ověřování stanovených měřidel dodržovat, jsou uvedeny v příloze k tomuto rozhodnutí, která tvoří jeho nedílnou součást.

Odůvodnění :  
Tímto rozhodnutím se v plném rozsahu vyhovuje žádosti o změnu rozhodnutí o autorizaci č.j. 46/1586 ze dne 19. října 2007, kterou žadatel podal v souvislosti se změnou názvu společnosti.

Poučení :  
Proti tomuto rozhodnutí lze podat odvolání do 15 dnů ode dne jeho doručení k Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR prostřednictvím Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

 Ing. Alexander Šafařík-Pštrosz  
předseda

Příloha : Podmínky autorizace

-1-